

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

UMA CONTRIBUIÇÃO AO DIMENSIONAMENTO DE
MÁQUINAS EXTRUSORAS PARA PRODUTOS CERÂMICOS

LOIR AFONSO MOREIRA

Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica, à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia de Campinas.

- CAMPINAS -

1977

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

*Dedico as horas que desejei
estar com minha esposa e
filha.*

A G R A D E C I M E N T O S

Este trabalho foi realizado no Centro de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas.

A orientação é do Professor Doutor DINO FERRARESI , a quem externo minha gratidão pelo interesse, apoio, incentivo e pelo suporte imprescindível à concretização deste trabalho.

Ao Centro de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, seus funcionários e engenheiros e em especial ao Engº. GERALDO NONATO TELLES, o meu reconhecimento.

À Srta. TAKA OTA, pela paciente dedicação e impecável trabalho de datilografia.

À MECÂNICA BONFANTI S/A pelo seu interesse no desenvolvimento de uma tecnologia nacional, não medindo esforços na execução dos dispositivos necessários, realização dos ensaios de campo e, em particular, ao Dr. Engº. ROBERTO GORTON pelo pronto atendimento às nossas solicitações.

Finalmente, a todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

R E S U M O

O projeto de máquinas extrusoras, utilizadas no processo de fabricação de produtos cerâmicos, tem sido realizado em bases empíricas, praticamente sem nenhum conhecimento dos fatores envolvidos. Partindo de modelos tradicionais que mostraram alguma eficiência e durabilidade, constroem-se atualmente extrusoras de vários tamanhos, geralmente com alguns de seus componentes superdimensionados e outros subdimensionados, acarretando respectivamente, maior custo aquisitivo e maiores despesas de manutenção. A finalidade deste trabalho é contribuir na otimização do projeto destas máquinas, através do fornecimento de uma técnica experimental e do procedimento analítico a ser adotado em sua análise e dimensionamento. Em particular, oferecer aos engenheiros projetistas da MECÂNICA BONFANTI S/A os elementos necessários para a otimização do projeto da extrusora MVB-14 de sua fabricação.

Pretende, ainda, contribuir no dimensionamento de máquinas que apresentem problemas mecânicos semelhantes, isto é, máquinas onde se torna problemática a obtenção de dados de projeto sem uma análise experimental.

A B S T R A C T

In the past, the design of machines for extrusion of ceramic products has been performed on empirical basis, practically without any knowledge of the involved factors. Based on traditional models which displayed some efficiency and durability, different sizes of extrusion machines are presently being built, generally with some of its components overdimensioned and others underdimensioned, causing, respectively, higher acquisition price and increased maintenance expenses.

The objective of this thesis is to contribute to the design optimization of these machines by means of supplying an experimental technique and an analytical procedure which can be adapted in the analysis and dimensioning of such machines. In particular, it offers to the design engineers of Mecânica Bonfanti S/A the necessary elements for the design optimization of their extrusion machine MVB-14. It also intends to contribute to the dimensioning of machines which present similar mechanical problems, it is, machines for which some design data can only be obtained through experimental analysis.

Í N D I C E

| <u>CAPÍTULO</u> | <u>PÁGINA</u> |
|--|---------------|
| <i>INTRODUÇÃO</i> | 1 |
| I - CONSIDERAÇÕES SOBRE A MÁQUINA | 4 |
| 1.1. GENERALIDADES | 4 |
| 1.2. MOMENTOS TORÇORES NOS EIXOS DE ACIONAMENTO | 5 |
| 1.3. MOMENTOS TORÇORES NOS EIXOS ACIONADOS | 6 |
| II - CONSTRUÇÃO DOS DINAMÔMETROS | 9 |
| 2.1. DINAMÔMETRO I | 9 |
| 2.1.1. Generalidades | 9 |
| 2.1.2. Dimensionamento | 9 |
| 2.1.3. Colocação dos extensômetros na região de medida | 15 |
| 2.1.4. Escolha dos extensômetros de medida | 26 |
| 2.1.5. Esquema das ligações dos extensômetros pa- ra a determinação do momento torçor M_I ... | 27 |
| 2.1.6. Determinação da tensão de saída da ponte amplificadora do DINAMÔMETRO I (ΔV_I) | 29 |
| 2.1.7. Previsão da sensibilidade do DINAMÔMETRO I através dos cálculos realizados | 30 |
| 2.2. DINAMÔMETRO II | 31 |
| 2.2.1. Generalidades | 31 |
| 2.2.2. Colocação dos extensômetros na região de medida | 33 |
| 2.2.3. Escolha dos extensômetros de medida | 43 |
| 2.2.4. Esquema das ligações dos extensômetros pa- ra a determinação do momento torçor M_{y_4} .. | 44 |
| 2.2.5. Determinação da tensão de saída da PONTE A do DINAMÔMETRO II (ΔV_{AII}) | 46 |

| | |
|---|-----|
| 2.2.6. Determinação da tensão de saída da PONTE B do DINAMÔMETRO II (ΔV_{BII}) | 46 |
| 2.2.7. Determinação do momento torçor M_{V4} atuante no eixo principal da máquina | 47 |
| 2.2.8. Previsão da sensibilidade do DINAMÔMETRO II através dos cálculos realizados | 48 |
| 2.3. DINAMÔMETRO III | 50 |
| 2.3.1. Generalidades | 50 |
| 2.3.2. Colocação dos extensômetros na região de medida | 52 |
| 2.3.3. Escolha dos extensômetros de medida | 59 |
| 2.3.4. Esquema das ligações dos extensômetros para a determinação da força axial P ... | 59 |
| 2.3.5. Determinação da tensão de saída da ponte amplificadora do DINAMÔMETRO III (ΔV_{III}) | 60 |
| 2.3.6. Previsão da sensibilidade do DINAMÔMETRO III através dos cálculos realizados | 61 |
| 2.4. EXECUÇÃO DOS DINAMÔMETROS | 62 |
| III- AFERIÇÃO DOS DINAMÔMETROS | 63 |
| 3.1. GENERALIDADES | 63 |
| 3.2. DINAMÔMETRO I | 65 |
| 3.3. DINAMÔMETRO II | 69 |
| 3.4. DINAMÔMETRO III | 70 |
| IV - ENSAIO E RESULTADOS EXPERIMENTAIS | 75 |
| 4.1. GENERALIDADES | 75 |
| 4.2. ENSAIO COM O DINAMÔMETRO I | 75 |
| 4.3. ENSAIO COM O DINAMÔMETRO II | 75 |
| 4.4. DETERMINAÇÃO DOS MOMENTOS TORÇORES ATUANTES NOS DIVERSOS EIXOS DA MÁQUINA | 82 |
| 4.5. ENSAIO COM O DINAMÔMETRO III | 100 |
| 4.6. MEDIDA DA ROTAÇÃO | 102 |

| | |
|---|-----|
| V - ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS | 104 |
| 5.1. GENERALIDADES | 104 |
| 5.1.1. Regressão polinomial | 104 |
| 5.1.2. Determinação do grau r do polinômio | 105 |
| 5.1.3. Coeficiente de determinação e erro padrão de estimativa | 106 |
| 5.2. GRÁFICOS | 107 |
| 5.2.1. Determinação do GRÁFICO ($M_I \times M_{V4}$) | 111 |
| 5.2.2. Determinação do GRÁFICO ($M_I \times M_{III4}$) | 114 |
| 5.2.3. Determinação do GRÁFICO ($M_I \times M_{III3}$) | 117 |
| 5.2.4. Determinação do GRÁFICO ($M_I \times M_{III4}/M_{III2}$) | 120 |
| 5.2.5. Determinação do GRÁFICO ($M_I \times M_{III3}/M_{III2}$) | 121 |
| 5.2.6. Determinação do GRÁFICO ($M_I \times M_{III3}/M_{III4}$) | 125 |
| 5.2.7. Determinação do GRÁFICO ($M_I \times P$) | 128 |
| VI - VERIFICAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES | 131 |
| 6.1. GENERALIDADES | 131 |
| 6.2. MOTOR ELÉTRICO | 131 |
| 6.3. PARES DE RODAS DENTADAS | 138 |
| 6.4. ROLAMENTOS | 166 |
| 6.5. EIXO INTERMEDIÁRIO | 197 |
| VII- CONSIDERAÇÕES FINAIS | 233 |
| BIBLIOGRAFIA | 235 |

INTRODUÇÃO

O projeto das *MAROMBAS*, utilizadas no processo de fabricação de produtos cerâmicos, tem sido realizado em bases empíricas, praticamente sem nenhum conhecimento dos fatores envolvidos. A partir dos modelos tradicionais que mostraram alguma eficiência e durabilidade (figura 1), constroem-se atualmente extrusoras de vários tamanhos, geralmente com elementos superdimensionados e portanto com um custo adicional de aquisição e operação.

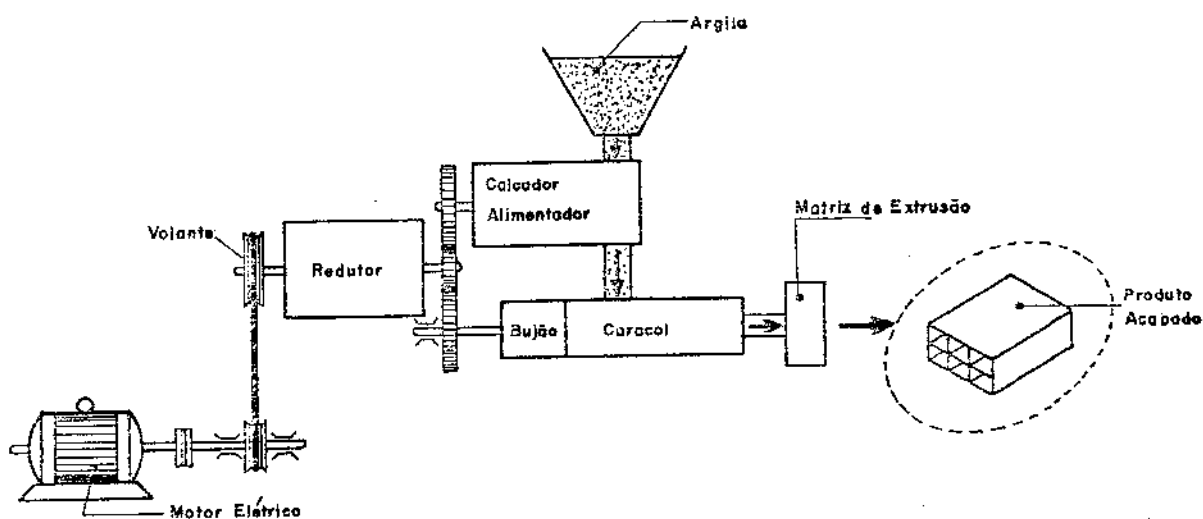


Fig. 1 - Esquema das Partes Principais de uma Maromba para Extrusão de Produtos Cerâmicos

Por outro lado, tem se verificado ruptura e desgaste excessivo de partes construtivas de *MAROMBAS* executadas por diversos fabricantes.

A *MECÂNICA BONFANTI S.A.*, indústria especializada na fabricação de máquinas para produtos cerâmicos, compreendendo perfeitamente que um aprimoramento de suas *MAROMBAS* só seria possível através de estudos teóricos e experimentais, solicitou ao *Centro de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas* a realização de tais estudos com a finalidade de se poder otimi-

zar o projeto da *MAROMBA MVB-14* de sua fabricação. Desta forma, executou-se este trabalho que tem por objetivos:

1. Fornecer aos engenheiros projetistas os elementos necessários para a otimização do projeto da *MAROMBA MVB-14*, através de dados experimentais e um critério racional de dimensionamento.
2. Estudar o comportamento dinâmico, isto é, a distribuição das cargas atuantes nos diferentes componentes mecânicos, para a máquina operando nas diversas condições de trabalho.
3. Possibilitar o dimensionamento de uma linha completa de *MAROMBAS* de diferentes capacidades.
4. Contribuir no dimensionamento de máquinas que apresentem problemas mecânicos semelhantes, isto é, máquinas que previamente seria problemático o seu dimensionamento sem uma análise experimental.

Para possibilitar a execução do trabalho, foi estudada a colocação de *DINAMÔMETROS* que permitissem a avaliação das cargas atuantes em pontos estratégicos da máquina (CAPÍTULO I). Tendo em vista o custo dos *DINAMÔMETROS* e a quantidade de *APARELHOS DE MEDIDA* a serem empregados, chegou-se a conclusão que três *DINAMÔMETROS* seriam suficientes. Havendo necessidade da medida e do registro das grandezas mecânicas envolvidas, optou-se pela utilização de *DINAMÔMETROS COM EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS*.

No projeto dos dinamômetros (CAPÍTULO II), é apresentada uma maneira sistemática de se tratar os problemas relativos a *EXTENSOMETRIA*.

No CAPÍTULO III procedeu-se a *AFERIÇÃO DOS DINAMÔMETROS*, tendo-se procurado reproduzir na aferição as condições reais de trabalho.

Em seguida, foram programados e executados vários ensaios com uma extrusora *MVB-14* operando em diversas condições de trabalho em uma *INDÚSTRIA CERÂMICA* (CAPÍTULO IV). A análise dos resultados foi realizada com auxílio da computação, utilizando-se um procedimento estatístico, onde se procurou estabelecer a interdependência das grandezas envolvidas (CAPÍTULO V). Através destes dados foi efetuado o dimensionamento dos elementos construtivos, não só pela resistência como também pela vida. Neste di

mensionamento, consideraram-se apenas os componentes mais representativos e de maior complexidade e que servissem de exemplo para o projeto completo da maromba em questão, bem como de uma linha de fabricação de máquinas semelhantes (CAPÍTULO VI).

CAPÍTULO I

CONSIDERAÇÕES SOBRE A MÁQUINA

1.1. GENERALIDADES

A finalidade de uma *MAROMBA* é a produção, principalmente, de tijolos furados, tijolos maciços e lajotas de vários tipos e tamanhos. Basicamente uma *MAROMBA* é constituída pelos seguintes componentes (figura 1.1):

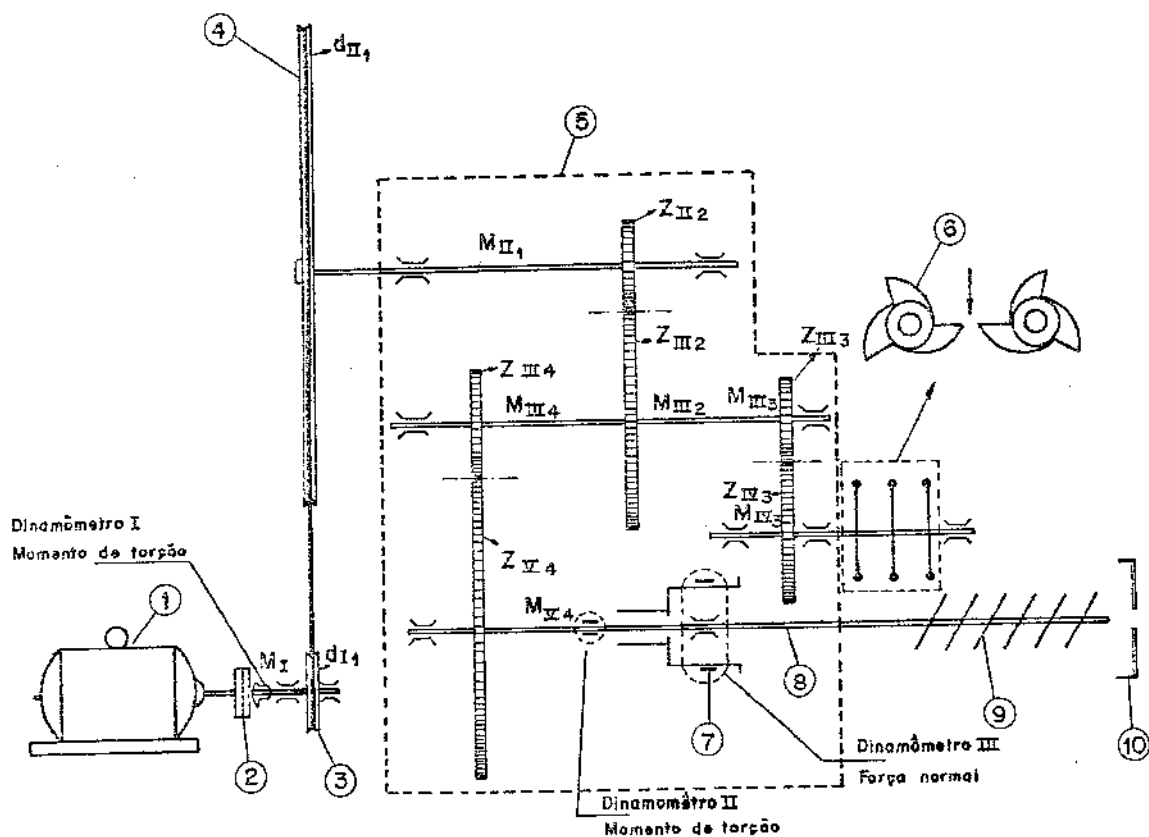


Fig. 1.1 - Esquema da Maromba

- 1- Motor elétrico de acionamento.
- 2- Acoplamento mecânico.
- 3- Polia motora, com correia em V, para acionamento do redutor.
- 4- Volante

- 5- Redutor de engrenagens.
- 6- Calcadores - alimentadores, para alimentação da argila no caracol, constituídos de dois eixos, engrenagens motoras e hélices impulsoras, montadas nos eixos.
- 7- Bujão, na entrada do caracol, para vedação e absorção da carga axial originada no processo de extrusão.
- 8- Eixo principal da máquina.
- 9- Caracol, constituído de uma rosca-sem-fim montada no eixo principal.
- 10- Matriz do caracol, onde a argila está sob pressão.

A matéria-prima, convenientemente beneficiada, é admitida nos calcadores-alimentadores através de uma correia transportadora. Nos calcadores a argila é obrigada a atravessar duas grelhas inclinadas e concorrentes. Nessa travessia ela é fragmentada em pequenas porções, nas quais se processa a *desareação* (câmara de vácuo) sendo a seguir pressionada pelo caracol e forçada através de uma matriz de extrusão que define o tipo e a forma do produto.

1.2. MOMENTOS TORÇORES NOS EIXOS DE ACIONAMENTO (EIXO II E EIXO III)

Sendo M_I (figura 1.1) o momento torçor no eixo de entrada (eixo I), fornecido pelo motor de acionamento, o momento torçor M_{III} , no eixo II, devido ao par *polia-volante* (par motor nº 1), será dado por:

$$M_{III} = M_I \cdot i_1 \cdot \eta_1 \cdot \eta_I \cdot \eta_{II} \quad (1.1)$$

onde,

$$i_1 = \text{RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO DO PAR MOTOR nº 1} = \frac{d_{III}}{d_{II}}$$

$$\eta_1 = \text{RENDIMENTO DA CORREIA DE TRANSMISSÃO}$$

η_I, η_{II} = RENDIMENTO DOS MANCAIS DOS EIXOS I e II, RESPECTIVAMENTE.

No eixo III (eixo intermediário), o momento torçor M_{III2} , devido ao par motor nº 2, será dado pela equação:

$$M_{III2} = M_{III1} \cdot i_2 \cdot \eta_2 \cdot \eta_{III} \quad (1.2)$$

onde,

$$i_2 = \text{RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO DO PAR MOTOR Nº 2} = \frac{z_{III2}}{z_{II2}}$$

η_2 = RENDIMENTO DO PAR MOTOR nº 2 (ENGRENAGENS)

η_{III} = RENDIMENTO DOS MANCAIS DO EIXO III.

Como o momento torçor M_{III2} , subdivide-se em M_{III3} , e M_{III4} , para acionar os pares motores nº 3 e 4, respectivamente, segue-se que:

$$M_{III2} = M_{III3} + M_{III4} \quad (1.3)$$

1.3. MOMENTOS TORÇORES NOS EIXOS ACIONADOS

A divisão do momento torçor, para acionar dois diferentes órgãos da máquina, leva a uma indeterminação na avaliação dos momentos torçores M_{III3} e M_{III4} responsáveis pelo acionamento dos eixos dos *calçadores-alimentadores* e do *eixo principal*, respectivamente. Esta indeterminação só é eliminada pela medição, por meio de *DINAMÔMETROS*, dos esforços reais no eixo V (eixo principal) e no eixo de entrada (eixo I).

O momento torçor M_{V4} , atuante no eixo V devido ao par motor nº 4, é dado por:

$$M_{V4} = M_{III4} \cdot i_4 \cdot \eta_4 \cdot \eta_V \quad (1.4)$$

onde,

$$i_4 = \text{RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO DO PAR MOTOR N}^\circ 4 = \frac{Z_{V4}}{Z_{III4}}$$

η_4 = RENDIMENTO DO PAR MOTOR N^o 4 (ENGRENAGENS)

η_V = RENDIMENTO DOS MANCAIS DO EIXO V

Substituindo-se o valor de M_{III4} , obtido a partir das equações (1.1), (1.2) e (1.3), na equação (1.4) resulta que:

$$M_{III3} = M_I \cdot i_{III} \cdot \eta_{mIII} - M_{V4} \cdot \frac{1}{i_4 \cdot \eta_4 \cdot \eta_V} \quad (1.5)$$

onde,

i_{III} = RELAÇÃO TOTAL DE TRANSMISSÃO ATÉ O EIXO III = $i_1 \cdot i_2$

η_{mIII} = RENDIMENTO MECÂNICO DA TRANSMISSÃO ATÉ O EIXO III

$$\eta_{mIII} = (\eta_1 \cdot \eta_2) \cdot (\eta_I \cdot \eta_{II} \cdot \eta_{III})$$

Nota-se da equação (1.5) que o momento torçor M_{III3} , responsável pelo acionamento dos eixos dos calçadores-alimentadores, pode ser determinado uma vez que sejam conhecidos:

- a) os valores reais (experimentais) dos momentos M_I (eixo do motor de acionamento) e M_{V4} (eixo principal, no qual está montado o caracol).
- b) os valores dos parâmetros i (relações de transmissão) e η (rendimentos mecânicos das engrenagens, mancais e correias).

As relações de transmissão i são conhecidas na máquina e os rendimentos η foram avaliados de acordo com os tipos de engrenagens, mancais e correia.

No presente trabalho foram desenvolvidos três dinamômetros, especialmente projetados e construídos, com as seguintes funções específicas:

DINAMÔMETRO I : medida do momento torçor M_I , no eixo do motor de acionamento. Este dinamômetro permite a previsão da potência necessária ao motor de acionamento da maromba (figura 1.1).

DINAMÔMETRO II: medida do momento torçor M_{V4} , no eixo principal da máquina. Este dinamômetro permite levantar a indeterminação na avaliação dos momentos torçores no eixo III (eixo intermediário), bem como a otimização do eixo principal da maromba (figura 1.1).

DINAMÔMETRO III: medida da força axial P , no eixo principal da máquina. Este dinamômetro permite a escolha racional do rolamento do eixo principal (figura 1.1).

Desta forma, foi possível a determinação dos esforços reais atuantes nos vários componentes mecânicos da maromba, com a máquina operando nas mais diversas condições de trabalho.

CAPÍTULO II

CONSTRUÇÃO DOS DINAMÔMETROS

2.1. DINAMÔMETRO QUE DEVERÁ MEDIR O MOMENTO TORÇOR, M_I , NO EIXO DO MOTOR DE ACIONAMENTO (DINAMÔMETRO I)

2.1.1. GENERALIDADES

O dinamômetro é constituído basicamente de um eixo oco que se deforma sob a ação do momento torçor aplicado pelo motor de acionamento da máquina (figura 2.1). Esta deformação é acompanhada por extensômetros elétricos, convenientemente colados no eixo e ligados em circuito de *ponte de Wheatstone*. A alimentação do circuito, assim como a saída do sinal, é efetuada através de uma ponte amplificadora *Philips* modelo *PR9307*. Dado o problema da rotação do eixo, a ligação entre o circuito e a ponte amplificadora teve que ser feita através de um conjunto de escovas captadoras colocado na ponta do eixo (figura 2.2). Utilizou-se, também, um registrador, para que se pudesse determinar a variação do sinal de saída em face das diversas condições de trabalho da máquina durante os ensaios.

O projeto do dinamômetro foi efetuado a partir do conhecimento prévio das especificações do motor de acionamento e visando satisfazer aos requisitos quanto a sensibilidade e rigidez. A união entre o dinamômetro e o eixo do motor foi feita através de um acoplamento elástico, especialmente projetado, com o objetivo de se minimizar os desalinhamentos e consequentemente garantir torção praticamente pura.

2.1.2. DIMENSIONAMENTO

2.1.2.1. Estimativa da condição máxima de trabalho

Para o acionamento da máquina, empregou-se um motor de indução, trifásico, em gaiola, com as seguintes ca

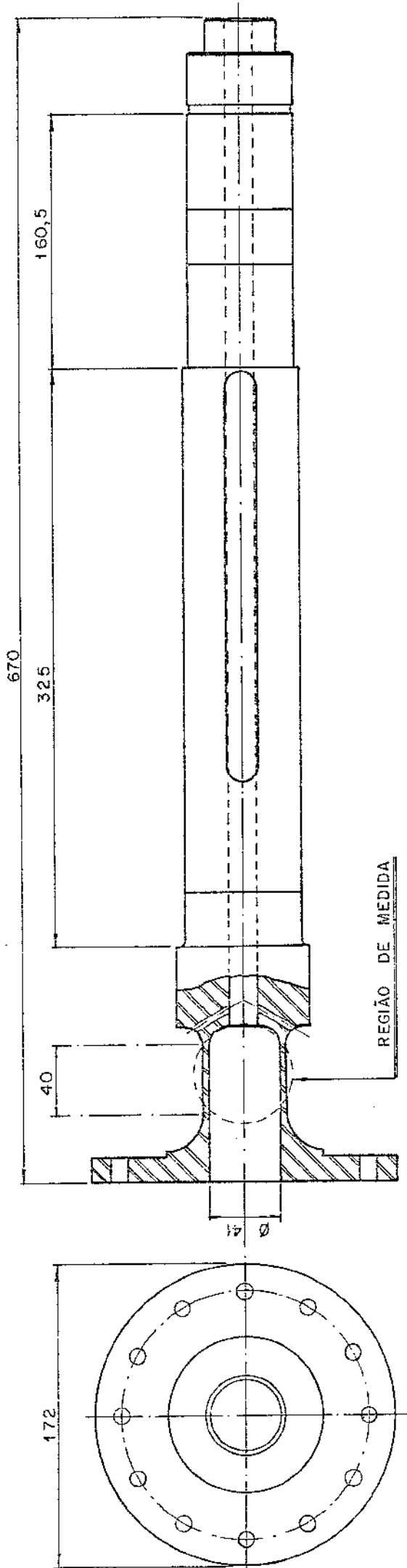
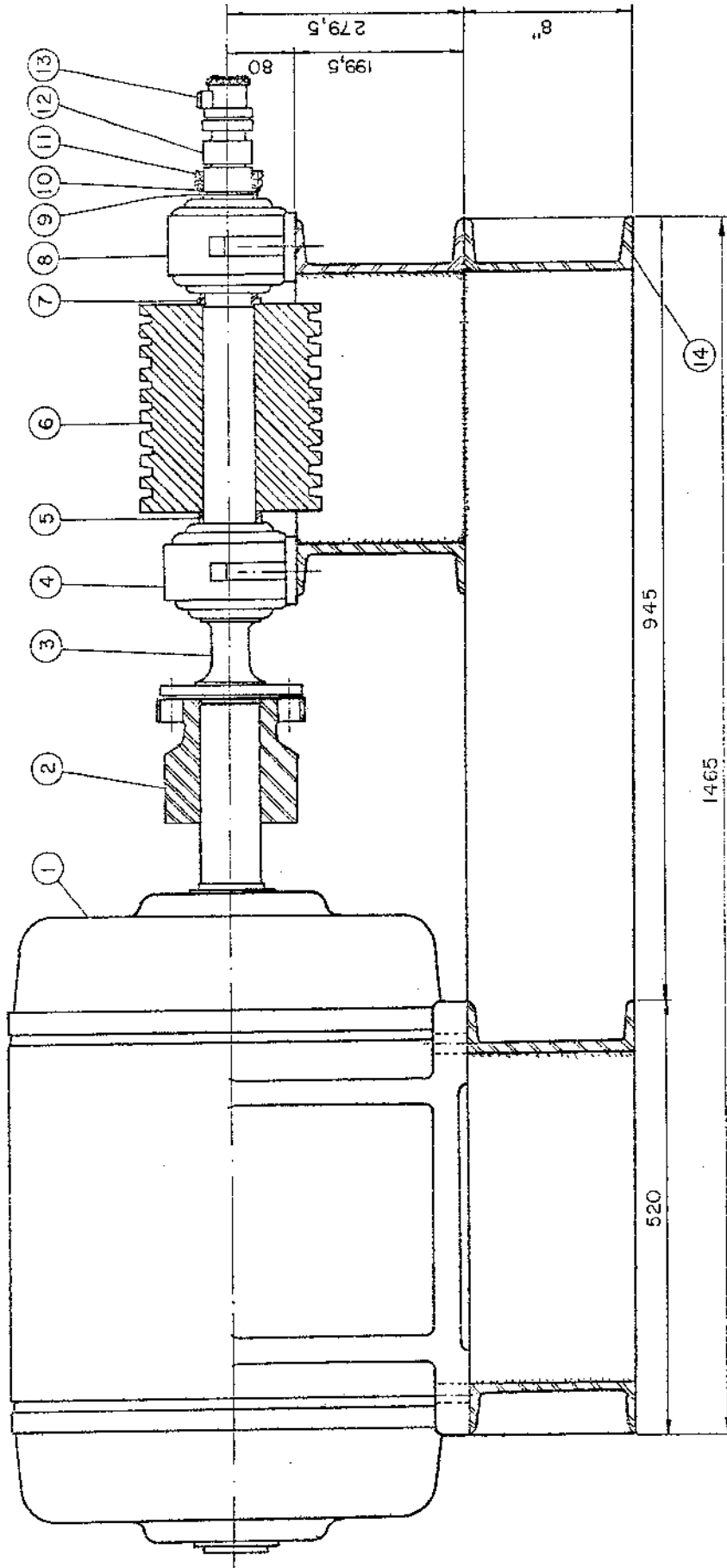


Fig. 2.1 - Região de Medida do Dinamômetro I



| | | |
|------|-------|---------------------------------|
| 14 | 1 | Chassi - viga "U" 8"x6185x10,05 |
| 13 | 1 | Escova |
| 12 | 1 | Luva de união |
| 11 | 2 | Porca SKF - KM12 |
| 10 | 1 | Arruela SKF - MB 12 |
| 9 | 1 | Anel separador 68 |
| 8 | 1 | Caixa SKF 5513X com rol. 2212 |
| 7 | 1 | Anel separador 76 |
| 6 | 1 | Polia motora |
| 5 | 1 | Anel separador 74 |
| 4 | 1 | Caixa SKF - 5515X com rol. 2212 |
| 3 | 1 | Região de medida |
| 2 | 1 | Flange - eixo do motor |
| 1 | 1 | Motor arno 100 CV |
| ITEM | QUANT | DENOMINAÇÃO |

Fig. 2.2 - Desenho de Conjunto do Dinamômetro I

racterísticas:

$$Potência = N = 100 \text{ cv}$$

$$Rotação = n = 1750 \text{ rpm}$$

Desta forma, o momento torçor M_{tn} , correspondente a rotação nominal será:

$$M_{tn} = 71620 \frac{N}{n} \quad (2.1.1)$$

$$M_{tn} = 71620 \frac{100}{1750} = 4092,57 \text{ kgf.cm}$$

De acordo com as características de fabricação do motor utilizado, o momento torçor máximo aplicado no eixo do motor é:

$$M_{t_{max}} = 1,6 \cdot M_{tn}$$

$$M_{t_{max}} = 6548,11 \text{ kgf.cm}$$

2.1.2.2. Determinação das dimensões da região de medida

O dinamômetro deve satisfazer simultaneamente as condições de sensibilidade e rigidez. Evidentemente estas duas condições são incompatíveis, uma vez que, enquanto a rigidez exige maiores dimensões da região de medida, para se aumentar a sensibilidade necessita-se da redução das mesmas. Procurando-se encontrar uma solução de compromisso entre sensibilidade e rigidez e levando-se em conta o valor do momento torçor máximo calculado no item anterior, as dimensões escolhidas foram as seguintes (figura 2,1):

$$Diâmetro externo = d_e = 45 \text{ mm}$$

$$Diâmetro interno = d_i = 41 \text{ mm}$$

$$Espessura da parede = e = 2 \text{ mm}$$

Comprimento de medida = $l = 40$ mm

2.1.2.3. Determinação das tensões principais no ponto mais solicitado da secção transversal da região de medida

Dado o acoplamento elástico e a rigidez dos mancais utilizados, pode-se admitir que a região de medida está submetida a torção pura. A distribuição de tensão na secção transversal será, portanto, uma distribuição de tensão de cisalhamento que varia linearmente com o raio [1]. Assim, os pontos mais solicitados da secção serão os pontos do contorno. Baseando-se nas dimensões escolhidas para a região de medida, o módulo de resistência a torção da secção transversal resulta:

$$W_t = \frac{\pi}{16} \left(\frac{d_e^4 - d_i^4}{d_e} \right) \quad (2.1.2)$$

$$W_t = 5,56 \text{ cm}^3$$

Associando-se a um ponto O do contorno um sistema cartesiano de referência O_{xyz} (figura 2.3), o tensor de tensão neste ponto será dado por [2]:

$$[T_\sigma]_O = \begin{bmatrix} 0 & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

onde

$$\tau_{xy} = \frac{M_{t_{\max}}}{W_t}$$

$$\tau_{xy} = 1177,72 \text{ kgf/cm}^2$$

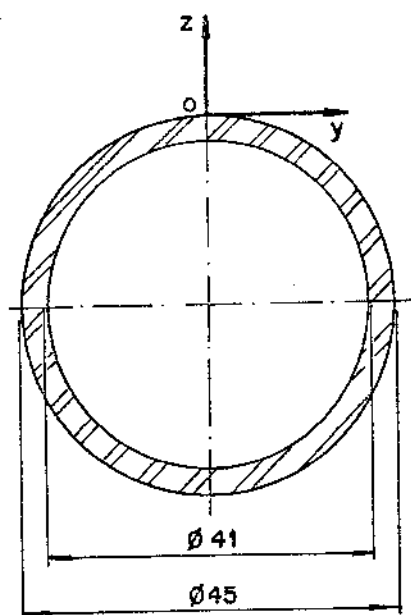


Fig. 2.3 - Sistema Cartesiano de Referência oxzy Associado ao Ponto o do Contorno

Finalmente, tendo-se determinado o tensor de tensão, as tensões principais no ponto serão obtidas através da seguinte equação [2]:

$$\begin{vmatrix} -\sigma_n & 1177,72 & 0 \\ 1177,72 & -\sigma_n & 0 \\ 0 & 0 & -\sigma_n \end{vmatrix} = 0$$

Portanto,

$$\sigma_1 = 1177,72 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_2 = 0$$

$$\sigma_3 = -1177,72 \text{ kgf/cm}^2$$

2.1.2.4. Verificação da região de medida

Dadas suas propriedades de *linearidade da curva característica e histerese elástica mínima*, empregou-se na construção do dinamômetro aço ABNT 4340 de fabricação de Aços Villares S/A, tratado termicamente e de características:

$$\text{Tensão limite de resistência} = \sigma_t = 11300 \text{ kgf/cm}^2$$

Tensão limite de escoamento = $\sigma_e = 7300 \text{ kgf/cm}^2$
Módulo de elasticidade longitudinal = $E = 2100000 \text{ kgf/cm}^2$
Coeficiente de poisson = $\mu = 0,30$

Adotou-se para tensão normal admissível a tensão correspondente a um terço da tensão limite de escoamento. Assim, a tensão de trabalho permissível para este material é:

$$\sigma_{ad} = \frac{1}{3} 7300 = 2330 \text{ kgf/cm}^2$$

De acordo com o critério de resistência de *Von Mises*, a tensão equivalente, σ_{eq} , no ponto mais solicitado da secção, dada por [3]:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]} \quad (2.1.3)$$

não deve ultrapassar a tensão admissível. Calculando-se para o ponto em questão a tensão equivalente, tem-se:

$$\sigma_{eq} = 2039,87 \text{ kgf/cm}^2$$

satisfazendo, portanto, as condições de trabalho.

2.1.3. COLOCAÇÃO DOS EXTENSÔMETROS NA REGIÃO DE MEDIDA

Para a colocação dos extensômetros foram estudados os estados de tensão em dois pontos θ_1 e θ_2 do contorno, diametralmente opostos (figura 2.4).

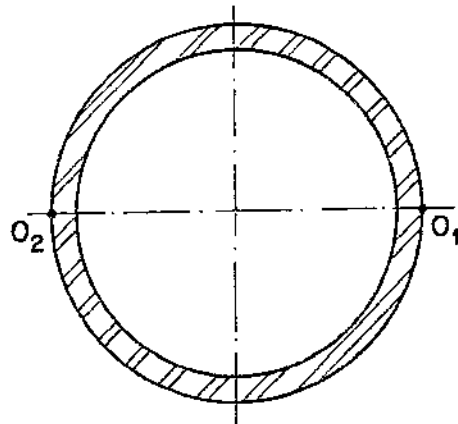


Fig. 2.4 - Pontos O_1 e O_2 do Contorno, Diametralmente Opostos

2.1.3.1. Estudo do estado de tensão no ponto O_1

Considerou-se, inicialmente, o sistema cartesiano de referência O_1xyz associado ao ponto O_1 e representado na figura 2.5

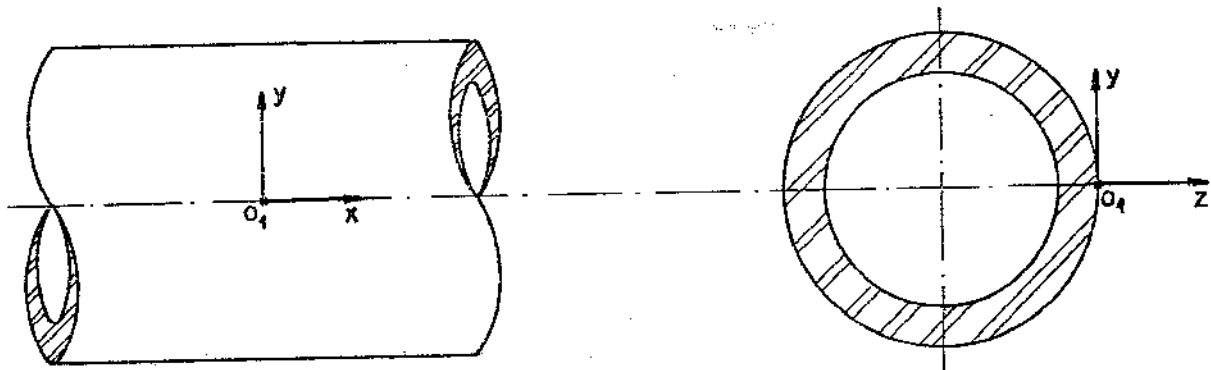


Fig. 2.5 - Sistema de Referência O_1xyz Associado ao Ponto O_1

Uma vez que o eixo está submetido a torção pura, o estado de tensão no ponto O_1 é um estado de cisalhamento puro, conforme mostra a figura 2.6.

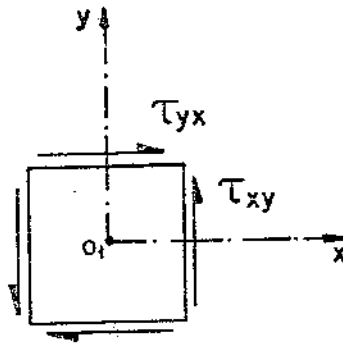


Fig. 2.6 - Estado de Tensão no Ponto o1

Conseqüentemente, o tensor de tensão neste ponto, segundo aquele sistema de referência, será dado por [2]:

$$[T_{\sigma}]_{01} = \begin{bmatrix} 0 & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

onde, τ_{xy} é a tensão de cisalhamento no ponto 0_1 devida ao momento torçor M_I , atuante no eixo do motor de acionamento. Portanto;

$$\tau_{xy} = \frac{16 \cdot d_e}{\pi (d_e^4 - d_i^4)} M_I \quad (2.1.4)$$

O sistema de referência 0_{1xyz} não é conveniente para a colocação dos extensômetros, dado que estes só medem deformações específicas que por sua vez são causadas por tensões normais. Torna-se necessário, então, determinar um novo sistema de referência. Um sistema de referência particularmente interessante é o que forma 45° com relação ao anterior e correspondendo a uma rotação em torno do eixo z . Este sistema de referência é o sistema $0_{1x'y'z'}$ representado na figura 2.7.

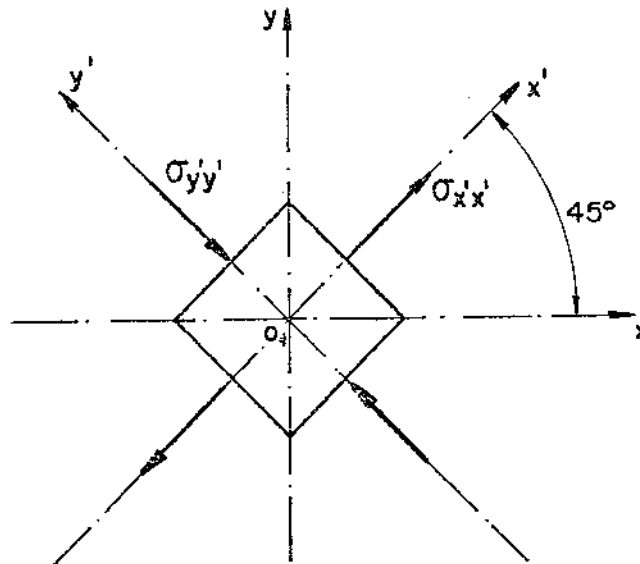


Fig. 2.7- Sistema de Referência $o, x'y'z'$

O novo tensor de tensão, $[T'_{\sigma}]_{01}$, com relação ao novo sistema de referência é dado pela seguinte equação matricial [4]:

$$[T'_{\sigma}]_{01} = [N]^t [T_{\sigma}]_{01} [N] \quad (2.1.5)$$

onde, $[N]$ é a matriz constituída dos cossenos diretores do novo sistema de referência relativamente a o_{1xyz} :

$$[N] = \begin{bmatrix} \cos(x', x) & \cos(y', x) & \cos(z', x) \\ \cos(x', y) & \cos(y', y) & \cos(z', y) \\ \cos(x', z) & \cos(y', z) & \cos(z', z) \end{bmatrix}$$

~~Assim, de acordo com a equação anterior, $[T'_{\sigma}]_{01}$, será dado por:~~

$$[T'_{\sigma}]_{01} = \begin{bmatrix} \sigma_{x'x'} & \tau_{x'y'} & \tau_{x'z'} \\ \tau_{x'y'} & \sigma_{y'y'} & \tau_{y'z'} \\ \tau_{x'z'} & \tau_{y'z'} & \sigma_{z'z'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 0 \\ \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & 0 \\ \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Resolvendo-se, vem:

$$[T'_{\sigma}]_{01} = \begin{bmatrix} \sigma x'x' & \tau x'y' & \tau x'z' \\ \tau x'y' & \sigma y'y' & \tau y'z' \\ \tau x'z' & \tau y'z' & \sigma z'z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau xy & 0 & 0 \\ 0 & -\tau xy & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Donde se conclui que:

$$\begin{aligned} \sigma x'x' &= \tau xy \\ \sigma y'y' &= -\tau xy \\ \sigma z'z' &= \tau x'y' = \tau y'z' = \tau x'z' = 0 \end{aligned}$$

2.1.3.2. Estudo do estado de deformação específica no ponto 0_1

Estando o ponto 0_1 submetido a um estado duplo de tensão, o estado de deformação específica neste ponto é obtido pela seguinte equação matricial [5]:

$$\{e\} = [\phi] \{\sigma\} + \{\epsilon_T\} \quad (2.1.6)$$

A matriz $\{e\}$ é uma matriz coluna constituída das deformações específicas no ponto segundo o sistema de referência $0_{1x'y'z'}$:

$$\{e\} = \begin{Bmatrix} e_{x'x'} \\ e_{y'y'} \\ e_{x'y'} \end{Bmatrix}$$

A matriz $[\phi]$ é uma matriz quadrada em que figuram as constantes elásticas do material:

$$[\phi] = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\mu & 0 \\ -\mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\mu) \end{bmatrix}$$

A matriz $\{\sigma\}$ é uma matriz coluna constituída das tensões no ponto segundo o sistema de referência $O_1x'y'z'$

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_{x'x'} \\ \sigma_{y'y'} \\ \tau_{x'y'} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \tau_{xy} \\ -\tau_{xy} \\ 0 \end{Bmatrix}$$

A matriz $\{e_T\}$ é uma matriz coluna constituída das deformações específicas no ponto devidas a variação de temperatura. Sendo T a variação da temperatura e α o coeficiente de dilatação térmica do material, esta matriz é dada por:

$$\{e_T\} = \alpha T \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Portanto,

$$\begin{Bmatrix} e_{x'x'} \\ e_{y'y'} \\ e_{x'y'} \end{Bmatrix} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\mu & 0 \\ -\mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\mu) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \tau_{xy} \\ -\tau_{xy} \\ 0 \end{Bmatrix} + \alpha T \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Resolvendo-se, obtêm-se as seguintes expressões para as deformações específicas no ponto:

$$e_{x'x'} = \tau_{xy} \left(\frac{1+\mu}{E} \right) + \alpha T$$

$$e_{y'y'} = -\tau_{xy} \left(\frac{1+\mu}{E} \right) + \alpha T$$

$$e_{x'y'} = 0$$

2.1.3.3. Colocação dos extensômetros no ponto O_1

No ponto O_1 foram colocados dois extensômetros. O extensômetro A_1 , colocado na direção de x' , deverá

acompanhar a deformação específica $e_{x'x'}$. O extensômetro B_1 , colocado na direção de y' , deverá acompanhar a deformação específica $e_{y'y'}$. De acordo com o item anterior, as deformações específicas e_{A_1} e e_{B_1} , sofridas pelos extensômetros A_1 e B_1 , respectivamente, são:

$$e_{A_1} = \tau_{xy} \left(\frac{1+\mu}{E} \right) + \alpha T$$

$$e_{B_1} = -\tau_{xy} \left(\frac{1+\mu}{E} \right) + \alpha T$$

A figura 2.8 apresenta a disposição dos extensômetros A_1 e B_1 no ponto O_1 .

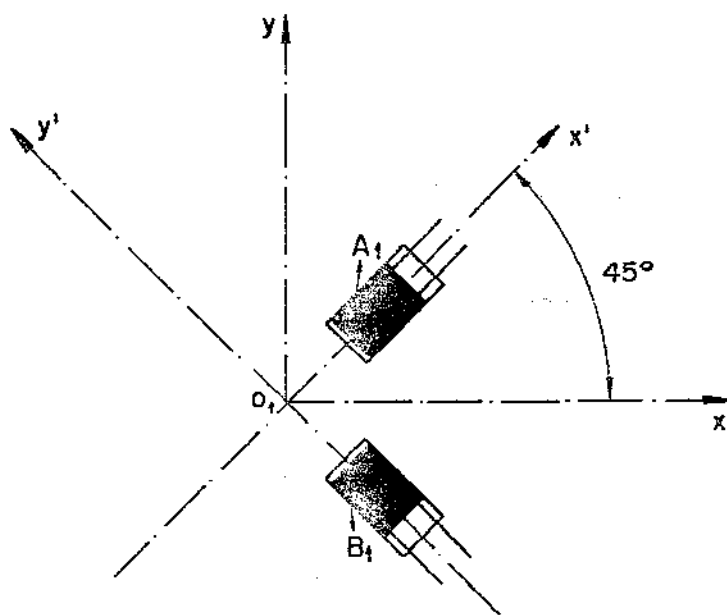


Fig.2.8- Disposição dos Extensômetros A_1 e B_1 no Ponto O_1

2.1.3.4. Estudo do estado de tensão no ponto O_2 , diametralmente oposto a O_1

Considerou-se, inicialmente, o sistema cartesiano de referência O_{2xyz} associado ao ponto O_2 e representado na figura 2.9.

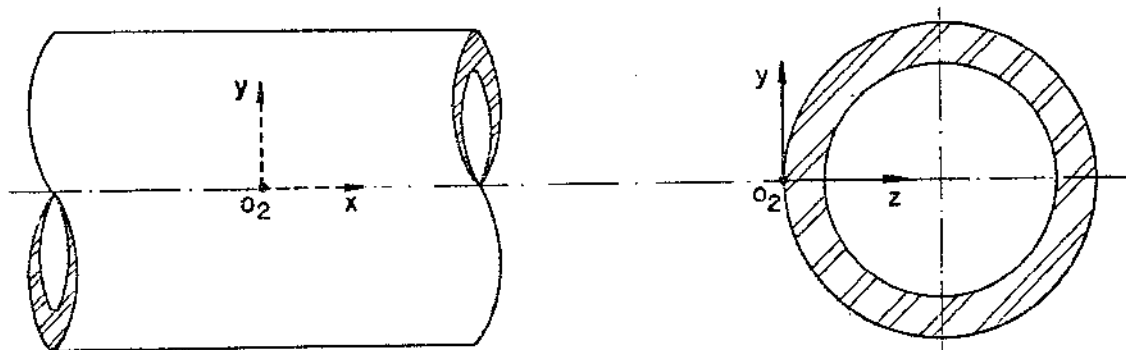


Fig. 2.9 - Sistema de Referência 0_2xyz Associado ao Ponto 0_2

O estado de tensão no ponto 0_2 é também um estado de cisalhamento puro, conforme mostra a figura 2.10.

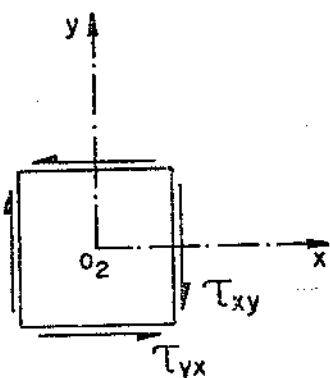


Fig. 2.10 - Estado de Tensão no Ponto 0_2

Portanto, o tensor de tensão neste ponto, segundo aquele sistema de referência, será dado por [2]:

$$[T_{\sigma}]_{0_2} = \begin{bmatrix} 0 & -\tau_{xy} & 0 \\ -\tau_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

De acordo com o que foi exposto no item 2.1.3.1, o sistema de referência 0_{2xyz} não é conveniente para a colocação dos extensômetros. Da mesma forma, o sistema mais apropriado é $0_{2x'y'z'}$, correspondendo a uma rotação de 45° em torno do eixo z e re-

presentado na figura 2.11.

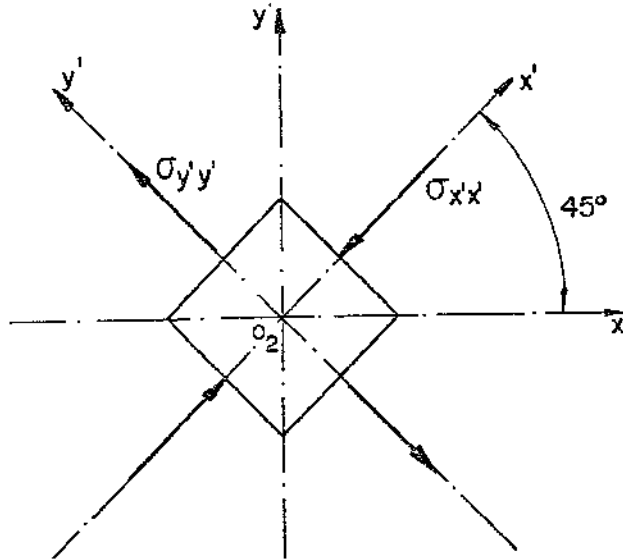


Fig. 2.11- Sistema de Referência $o_2x'y'z'$

O novo tensor de tensão, $[T'_{\sigma}]_{o_2}$, com relação ao novo sistema de referência é dado pela equação matricial [4]:

$$[T'_{\sigma}]_{o_2} = [N]^t [T_{\sigma}]_{o_2} [N]$$

Portanto,

$$[T'_{\sigma}]_{o_2} = \begin{bmatrix} \sigma_{x'x'} & \tau_{x'y'} & \tau_{x'z'} \\ \tau_{x'y'} & \sigma_{y'y'} & \tau_{y'z'} \\ \tau_{x'z'} & \tau_{y'z'} & \sigma_{z'z'} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 0 \\ -\sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -\tau_{xy} & 0 \\ -\tau_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & 0 \\ \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Resolvendo-se, vem:

$$[T'_{\sigma}]_{o_2} = \begin{bmatrix} \sigma_{x'x'} & \tau_{x'y'} & \tau_{x'z'} \\ \tau_{x'y'} & \sigma_{y'y'} & \tau_{y'z'} \\ \tau_{x'z'} & \tau_{y'z'} & \sigma_{z'z'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\tau_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & \tau_{xy} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Donde se conclui que:

$$\begin{aligned}\sigma_{x'x'} &= -\tau_{xy} \\ \sigma_{y'y'} &= \tau_{xy} \\ \sigma_{z'z'} &= \tau_{x'y'} = \tau_{y'z'} = \tau_{x'z'} = 0\end{aligned}$$

2.1.3.5. Estado de deformação específica no ponto O_2

O estado de deformação específica neste ponto será dado por (item 2.1.3.2):

$$\{e\} = [\phi] \{\sigma\} + \{e_T\}$$

Assim,

$$\begin{Bmatrix} e_{x'x'} \\ e_{y'y'} \\ e_{x'y'} \end{Bmatrix} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\mu & 0 \\ -\mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\mu) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -\tau_{xy} \\ \tau_{xy} \\ 0 \end{Bmatrix} + \alpha T \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Efetuando-se, obtêm-se as seguintes expressões para as deformações específicas no ponto:

$$e_{x'x'} = -\tau_{xy} \left(\frac{1+\mu}{E} \right) + \alpha T$$

$$e_{y'y'} = \tau_{xy} \left(\frac{1+\mu}{E} \right) + \alpha T$$

$$e_{x'y'} = 0$$

2.1.3.6. Colocação dos extensômetros no ponto O_2

No ponto O_2 foram colocados dois extensômetros. O extensômetro A_2 , colocado na direção de x' , deverá acompanhar a deformação específica $e_{x'x'}$. O extensômetro B_2 , colocado na direção de y' , deverá acompanhar a deformação específica $e_{y'y'}$. De acordo com o item anterior as deformações específicas e_{A_2} e e_{B_2} , sofridas pelos extensômetros A_2 e B_2 , respec-

tivamente, são:

$$e_{A_2} = -\tau_{xy} \left(\frac{1+\mu}{E} \right) + \alpha T$$

$$e_{B_2} = \tau_{xy} \left(\frac{1+\mu}{E} \right) + \alpha T$$

A figura 2.12 apresenta a disposição dos extensômetros A_2 e B_2 no ponto O_2 .

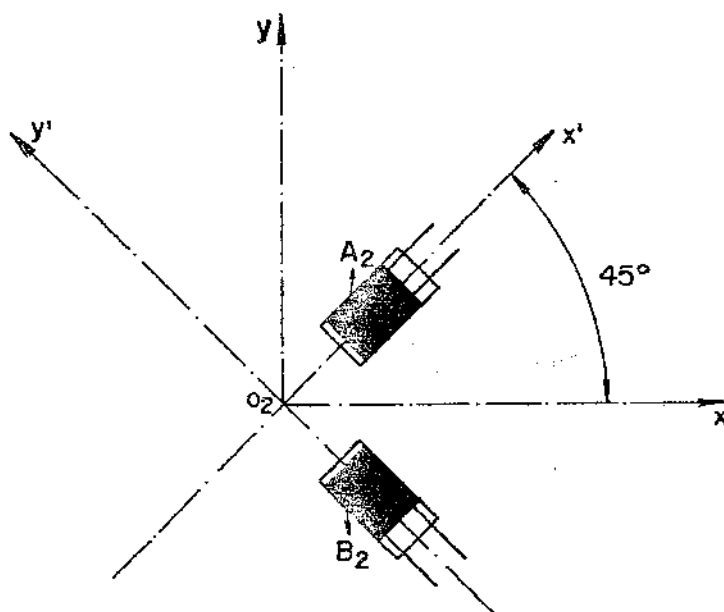


Fig. 2.12 - Disposição dos Extensômetros A_2 e B_2 no Ponto O_2

A figura 2.13 mostra a colocação dos extensômetros A_1 , A_2 , B_1 e B_2 no eixo.

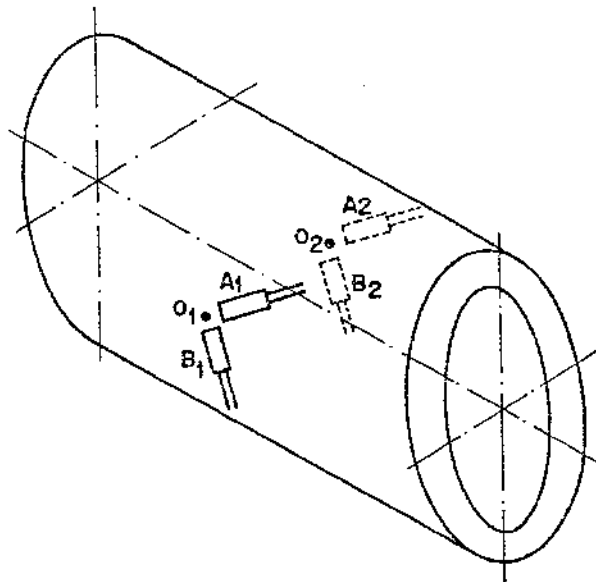


Fig. 2.13 - Disposição dos Extensômetros A₁, A₂, B₁ e B₂ no Eixo

2.1.4. ESCOLHA DOS EXTENSÔMETROS DE MEDIDA

A máxima deformação específica sofrida pelos extensômetros será dada por:

$$\epsilon_{\max} = (\tau_{xy})_{\max} \frac{1+\mu}{E}$$

onde, $(\tau_{xy})_{\max}$ é a tensão de cisalhamento máxima correspondente ao momento torçor máximo. Portanto,

$$\epsilon_{\max} = 729 \mu d$$

Baseando-se nesta deformação específica máxima, foram escolhidas duas rosetas PHILIPS PR9840 K/10 Fe com as seguintes características [6]:

| | |
|--|------------------|
| TIPO | CHAPA METÁLICA |
| RESISTÊNCIA (R) | 120,0 ± 0,5% Ω |
| CORRENTE MÁXIMA ADMISSÍVEL (i _{max}) | 20 mA |
| COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE (k) | 1,99 ± 1% |
| DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA MÁXIMA (ε _{max}) | ACIMA DE 4000 μd |

As rosetas utilizadas foram de um mesmo lote de fabricação de modo a facilitar o balanceamento da *Ponte Amplificadora*.

2.1.5. ESQUEMA DAS LIGAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS PARA A DETERMINAÇÃO DO MOMENTO TORÇOR M_T

Os extensômetros A_1 , A_2 , B_1 e B_2 foram acoplados em circuito de *PONTE DE WHEATSTONE* completa, conforme mostra a figura 2.14.

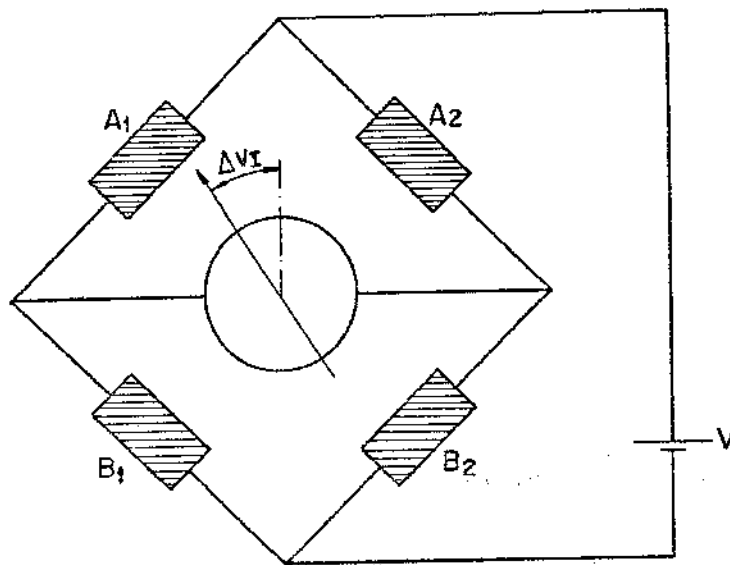


Fig. 2.14 - Esquema da Ligação dos Extensômetros na Região de Medida para a Determinação do Momento Torçor M_T

A ligação entre o circuito e a *Ponte Amplificadora* foi feita através de um conjunto de escovas captadoras colocado na ponta do eixo (figura 2.15)

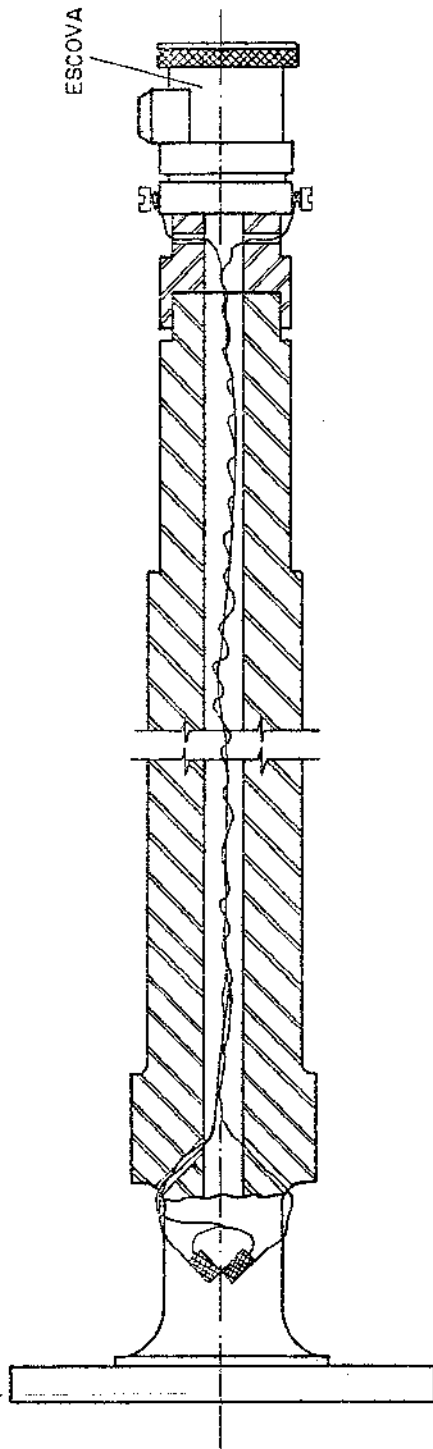


Fig. 2.15 - Esquema da Ligação entre o Circuito e a Ponte Amplificadora

2.1.6. DETERMINAÇÃO DA TENSÃO DE SAÍDA DA PONTE AMPLIFICADORA DO DINAMÔMETRO I (ΔV_I)

Sendo e_{A_1} , e_{B_1} , e_{B_2} e e_{A_2} as deformações específicas sofridas pelos extensômetros A_1 , B_1 , B_2 e A_2 , respectivamente, a tensão de saída da *Ponte Amplificadora* será dada por [7]:

$$\Delta V_I = \frac{Vk}{4}(e_{A_1} - e_{B_1} + e_{B_2} - e_{A_2}) \quad (2.1.7)$$

onde,

V = TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO DA PONTE
 k = COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE DOS EXTENSÔMETROS

Substituindo-se e_{A_1} , e_{B_1} , e_{B_2} e e_{A_2} pelos valores obtidos nos itens 2.1.3.3. e 2.1.3.6, tem-se:

$$\Delta V_I = \frac{Vk}{4} \left[\tau_{xy} \left(\frac{1+\mu}{E} \right) + \alpha T + \tau_{xy} \left(\frac{1+\mu}{E} \right) - \alpha T + \tau_{xy} \left(\frac{1+\mu}{E} \right) + \alpha T + \tau_{xy} \left(\frac{1+\mu}{E} \right) - \alpha T \right]$$

ou ainda,

$$\Delta V_I = \frac{Vk(1+\mu)}{E} \cdot \tau_{xy}$$

Substituindo-se τ_{xy} por seu valor em termos do momento torçor M_I , atuante no eixo do motor de acionamento, obtêm-se:

$$\Delta V_I = \frac{Vk(1+\mu)16 d_e}{E \pi (d_e^4 - d_i^4)} M_I \quad (2.1.8)$$

A tensão de saída da *Ponte Amplificadora* do DINAMÔMETRO I, ΔV_I , foi registrada para que se pudesse determinar sua variação em

face das diversas condições de trabalho da máquina durante os ensaios. A figura 4.2. apresenta o registro desta tensão por ocasião do ensaio 24.

2.1.7. PREVISÃO DA SENSIBILIDADE DO DINAMÔMETRO I ATRAVÉS DOS CÁLCULOS REALIZADOS

A sensibilidade de um instrumento de medida é definida como sendo a relação entre a variação da leitura (dL) e a variação da grandeza a medir (dG). Portanto [8],

$$S = \frac{dL}{dG} \quad (2.1.9)$$

Dada a linearidade existente entre a leitura (ΔV_I) e a grandeza a medir (M_I), a sensibilidade pode ser dada simplesmente por:

$$S = \frac{\Delta V_I}{M_I} = \frac{Vk(1+\mu) 16 d_e}{E \pi (d_e^4 - d_i^4)}$$

onde,

ΔV_I = LEITURA NA PONTE AMPLIFICADORA EM [mV]

M_I = MOMENTO TORÇOR APLICADO EM [kgf.cm]

Utilizando-se *Ponte Amplificadora* marca *Philips* modelo *PR9307* com tensão de alimentação 4 Volts, a sensibilidade S resulta:

$$S = 0,00089 \text{ mV/kgf.cm}$$

Empregando-se uma amplificação da ponte de 50 divisões da escala do mostrador para 10 mV, a leitura para o momento torçor máximo de 6548,11 kgf.cm será 29 divisões da escala. Para uma divisão da escala do mostrador a leitura será 224,72 kgf.cm/div. Assim, para uma amplificação de 10 mV, o momento torçor mínimo mensurável é 224,72 kgf.cm.

Para amplificações maiores, consegue-se a leitura de momentos torçores menores.

2.2. DINAMÔMETRO QUE DEVERÁ MEDIR O MOMENTO TORÇOR, Mv_4 , NO EIXO PRINCIPAL (DINAMÔMETRO II)

2.2.1. GENERALIDADES

Na construção deste dinamômetro aproveitou-se o próprio eixo principal da máquina com uma única modificação na ponta do eixo, necessária para a fixação do conjunto de escovas responsável pela captação dos sinais das pontes (figura 2.16). As deformações no eixo, causadas pela ação dos esforços aplicados pelo par motor nº 4, constituído de engrenagens cilíndricas de dentes retos (figura 1.1) são acompanhadas por extensômetros elétricos convenientemente colados e ligados em dois circuitos de meia *Ponte de Wheatstone*. A alimentação dos circuitos, bem como a saída dos sinais, é efetuada através de duas pontes amplificadoras *Philips* modelo *PR9307*. Os sinais das pontes foram ainda lançados em um registrador com o objetivo de se poder determinar suas variações, dadas as diversas condições de trabalho da máquina durante os ensaios.

O material empregado na construção do dinamômetro foi o aço *ABNT 4340* com as propriedades e características descritas anteriormente no item 2.1.2.4.

A *Região de Medida* se encontra representada na figura 2.16 e suas dimensões e propriedades geométricas da secção transversal são:

$$\text{DIÂMETRO} = d = 110 \text{ mm}$$

$$\text{COMPRIMENTO} = l = 197 \text{ mm}$$

$$\text{MÓDULO DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO} = W_f = \frac{\pi d^3}{32}$$

$$\text{MÓDULO DE RESISTÊNCIA A TORÇÃO} = W_t = \frac{\pi d^3}{16}$$

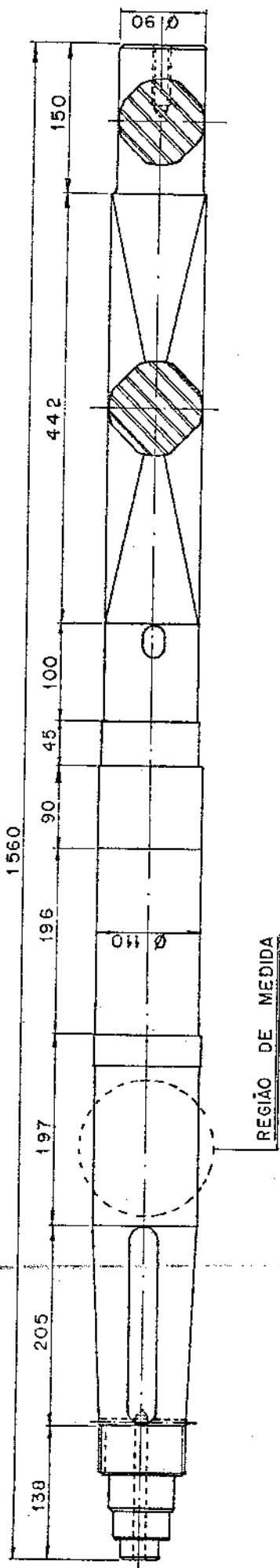


Fig. 2.16 - Região de Medida do Dinamômetro II

2.2.2. COLOCAÇÃO DOS EXTENSÔMETROS NA REGIÃO DE MEDIDA

Devido ao par motor nº 4, a região de medida está solicitada simultaneamente a torção e a flexão (figura 2.17).

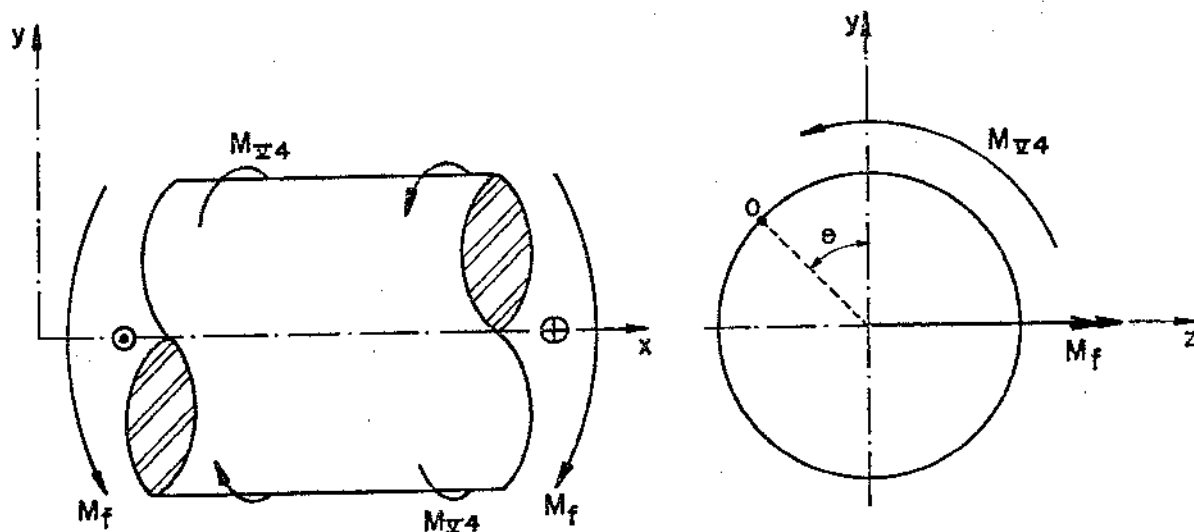


Fig. 2.17- Representação das Solicitações na Região de Medida

Os pontos do contorno onde serão colocados os extensômetros estão submetidos, portanto, a uma tensão de cisalhamento devida ao momento torçor M_{v4} , constante para todos estes pontos dada por:

$$\tau = \frac{16 M_{v4}}{\pi d^3} \quad (2.2.1)$$

e a uma tensão normal devida ao momento fletor M_f que varia ao longo do contorno segundo a expressão:

$$\sigma = \frac{32 M_f}{\pi d^3} \cos \theta \quad (2.2.2)$$

onde, θ é o ângulo entre o ponto considerado e o eixo y . Para a colocação dos extensômetros foram estudados os estados de tensão em dois pontos θ_1 e θ_2 , diametralmente opostos (figura 2.18).

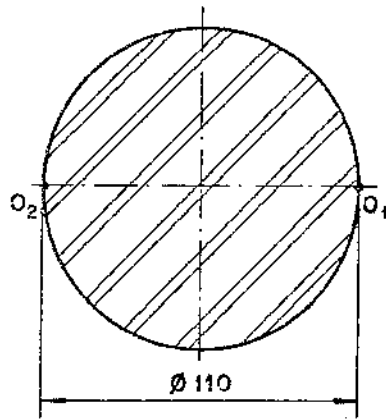


Fig.2.18 - Pontos O_2 e O_1 do Contorno, Diametralmente Opostos

2.2.2.1. Estudo do estado de tensão no ponto O_1

Considerou-se, inicialmente, o sistema de referência O_1xyz associado ao ponto O_1 e representado na figura 2.19.

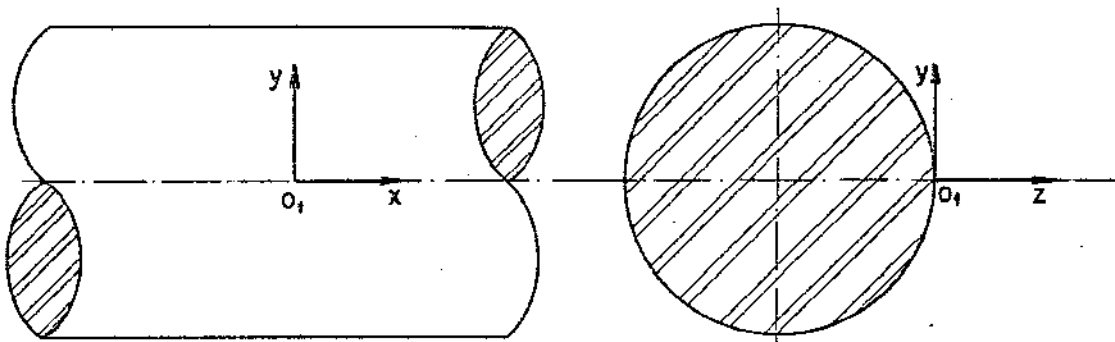


Fig.2.19 - Sistema de Referência O_1xyz Associado ao Ponto O_1

Uma vez que o eixo está submetido a torção e flexão simultaneamente, o estado de tensão no ponto O_1 é o representado na figura 2.20.

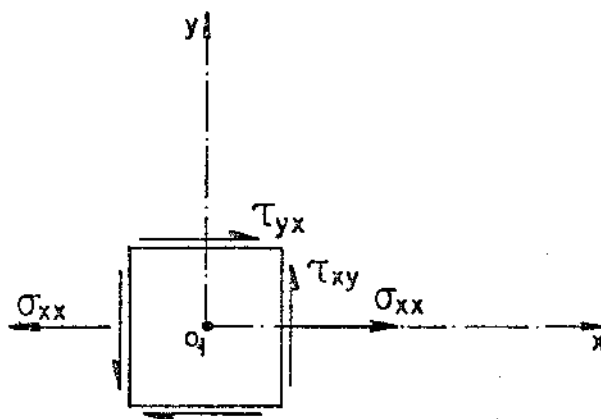


Fig.2.20 - Estado de Tensão no Ponto o_1

Conseqüentemente, o tensor de tensão neste ponto segundo aquele sistema de referência será dado por [2]

$$[T_{\sigma}]_{o_1} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

onde, τ_{xy} e σ_{xx} são dadas pelas equações (2.2.1) e (2.2.2), respectivamente.

O sistema de referência o_{1xyz} não é conveniente para a colocação dos extensômetros, uma vez que se colocados segundo este sistema, mediriam somente a tensão normal devida a flexão. Desta forma, é necessário se determinar um novo sistema de referência. Um sistema particularmente interessante é o que forma 45° com relação ao anterior e correspondendo a uma rotação em torno do eixo z.

Este sistema de referência é o sistema $o_{1x'y'z'}$, mostrado na figura 2.21.

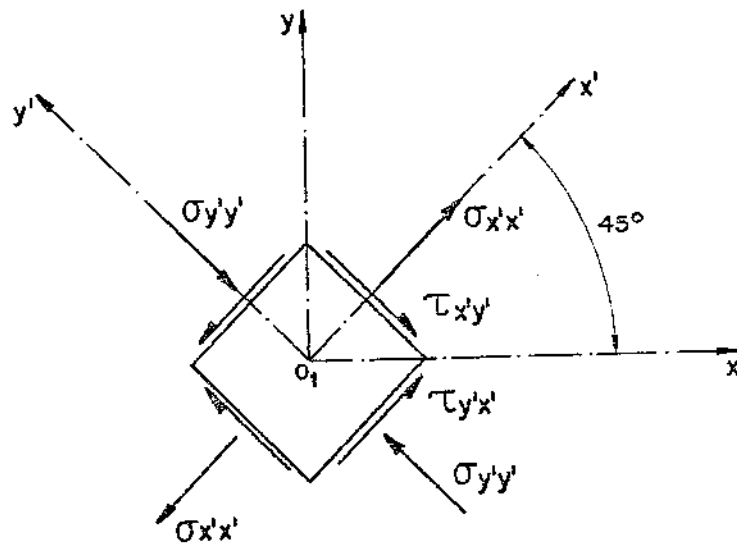


Fig. 2.21 - Sistema de Referência $o_1x'y'z'$

De acordo com a equação (2.1.5), o tensor de tensão $[T'_{\sigma}]_{o_1}$ com relação a $o_1x'y'z'$ é dado por:

$$[T'_{\sigma}]_{o_1} = \begin{bmatrix} \sigma_{x'x'} & \tau_{x'y'} & \tau_{x'z'} \\ \tau_{x'y'} & \sigma_{y'y'} & \tau_{y'z'} \\ \tau_{x'z'} & \tau_{y'z'} & \sigma_{z'z'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 0 \\ -\sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & 0 \\ \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Resolvendo-se, vem:

$$[T'_{\sigma}]_{o_1} = \begin{bmatrix} \sigma_{x'x'} & \tau_{x'y'} & \tau_{x'z'} \\ \tau_{x'y'} & \sigma_{y'y'} & \tau_{y'z'} \\ \tau_{x'z'} & \tau_{y'z'} & \sigma_{z'z'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\frac{\sigma_{xx}}{2} + \tau_{xy}) & -\frac{\sigma_{xx}}{2} & 0 \\ -\frac{\sigma_{xx}}{2} & (\frac{\sigma_{xx}}{2} - \tau_{xy}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Donde se conclui que:

$$\sigma_{x'x'} = \frac{\sigma_{xx}}{2} + \tau_{xy}$$

$$\sigma_{y'y'} = \frac{\sigma_{xx}}{2} - \tau_{xy}$$

$$\tau_{x'y'} = - \frac{\sigma_{xx}}{2}$$

$$\sigma_{z'z'} = \tau_{y'z'} = \tau_{x'z'} = 0$$

2.2.2.2. Estudo do estado de deformação específica no ponto O_1

O estado de deformação específica neste ponto será dado pela equação (2.1.6). Assim,

$$\begin{Bmatrix} e_{x'x'} \\ e_{y'y'} \\ e_{x'y'} \end{Bmatrix} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\mu & 0 \\ -\mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\mu) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\sigma_{xx}}{2} + \tau_{xy} \\ \frac{\sigma_{xx}}{2} - \tau_{xy} \\ -\frac{\sigma_{xx}}{2} \end{Bmatrix} + \alpha T \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Efetuando-se, resulta:

$$e_{x'x'} = \sigma_{xx} \frac{(1-\mu)}{2E} + \tau_{xy} \frac{(1+\mu)}{E} + \alpha T$$

$$e_{y'y'} = \sigma_{xx} \frac{(1-\mu)}{2E} - \tau_{xy} \frac{(1+\mu)}{E} + \alpha T$$

$$e_{x'y'} = - \sigma_{xx} \frac{(1+\mu)}{E}$$

2.2.2.3. Colocação dos extensômetros no ponto O_1

No ponto O_1 foram colocados dois extensômetros. O extensômetro A_1 colocado na direção de x' , deverá acompanhar a deformação específica $e_{x'x'}$. O extensômetro B_1 colocado na direção de y' , deverá acompanhar a deformação

específica $ey'y'$. De acordo com o item anterior, as deformações específicas e_{A_1} e e_{B_1} sofridas pelos extensômetros A_1 e B_1 , respectivamente, são:

$$e_{A_1} = \sigma_{xx} \frac{(1-\mu)}{2E} + \tau_{xy} \frac{(1+\mu)}{E} + \alpha T$$

$$e_{B_1} = \sigma_{xx} \frac{(1-\mu)}{2E} - \tau_{xy} \frac{(1+\mu)}{E} + \alpha T$$

A figura 2.22 mostra a disposição dos extensômetros A_1 e B_1 no ponto O_1 .

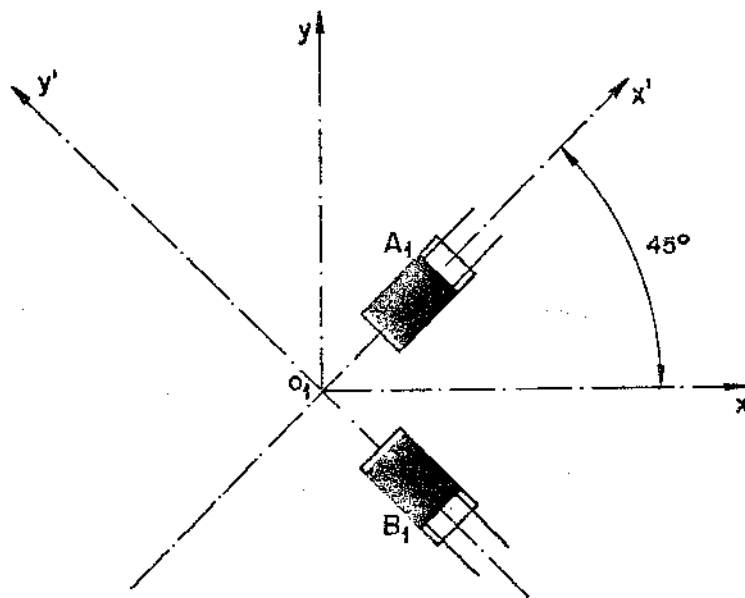


Fig. 2.22 - Disposição dos Extensômetros A_1 e B_1 no Ponto O_1

2.2.2.4. Estudo do estado de tensão no ponto O_2 , diametralmente oposto a O_1

Considerou-se, inicialmente, o sistema cartesiano de referência O_{2xyz} associado ao ponto O_2 e representado na figura 2.23.

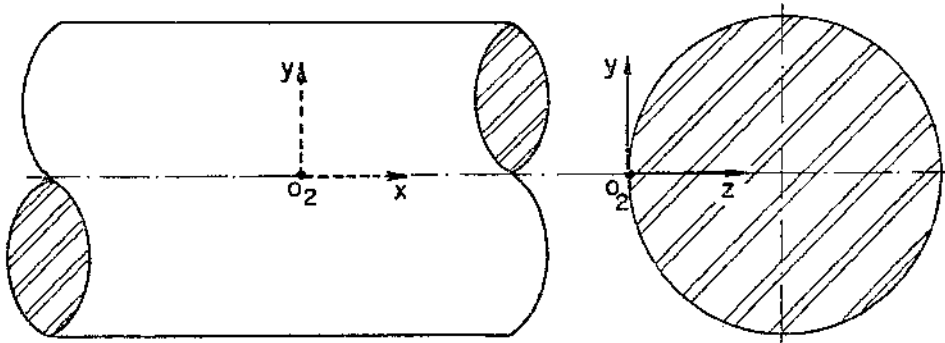


Fig. 2.23- Sistema de Referência O_2xyz Associado ao Ponto O_2

O estado de tensão no ponto O_2 se encontra representado na figura 2.24.

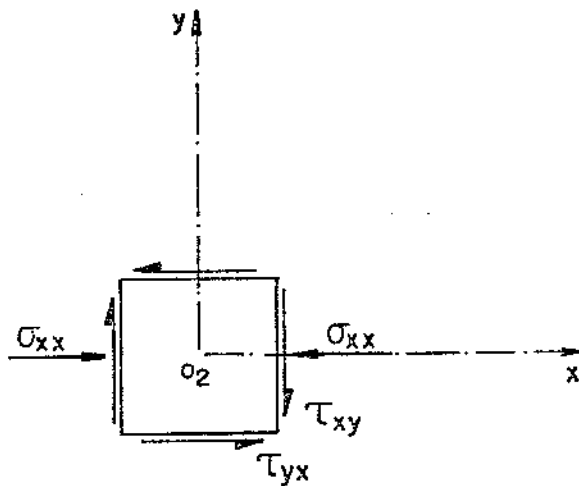


Fig. 2.24 - Estado de Tensão no Ponto O_2

Portanto, o tensor de tensão neste ponto segundo aquele sistema de referência será dado por [2]:

$$[T_\sigma]_{O_2} = \begin{bmatrix} -\sigma_{xx} & -\tau_{xy} & 0 \\ -\tau_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

O sistema de referência O_{2xyz} , pelo mesmo motivo apresentado quando do estudo do estado de tensão no ponto O_1 , não é conve -

niente para a colocação dos extensômetros. O sistema mais apropriado é $0_{2x'y'z'}$, correspondendo a uma rotação de 45° em torno do eixo z e representado na figura 2.25.

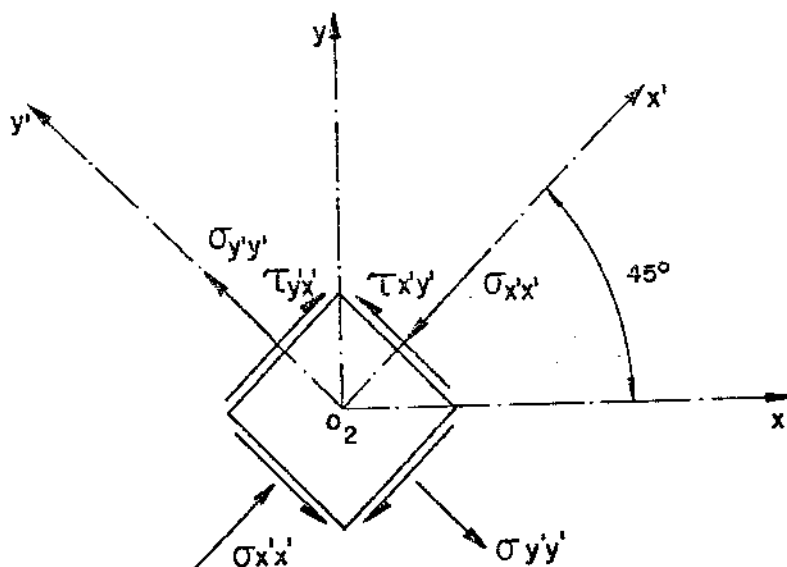


Fig. 2.25- Sistema de Referência $0_{2x'y'z'}$

O novo tensor de tensão, $[T'_{\sigma}]_{02}$, com relação ao novo sistema de referência $0_{2x'y'z'}$, é dado pela equação (2.1.5). Assim,

$$[T'_{\sigma}]_{02} = \begin{bmatrix} \sigma_{x'x'} & \tau_{x'y'} & \tau_{x'z'} \\ \tau_{x'y'} & \sigma_{y'y'} & \tau_{y'z'} \\ \tau_{x'z'} & \tau_{y'z'} & \sigma_{z'z'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 0 \\ -\sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\sigma_{xx} & -\tau_{xy} & 0 \\ -\tau_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & 0 \\ \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Resolvendo-se, vem:

$$[T'_{\sigma}]_{02} = \begin{bmatrix} \sigma_{x'x'} & \tau_{x'y'} & \tau_{x'z'} \\ \tau_{x'y'} & \sigma_{y'y'} & \tau_{y'z'} \\ \tau_{x'z'} & \tau_{y'z'} & \sigma_{z'z'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (-\frac{\sigma_{xx}}{2} - \tau_{xy}) & \frac{\sigma_{xx}}{2} & 0 \\ \frac{\sigma_{xx}}{2} & (-\frac{\sigma_{xx}}{2} + \tau_{xy}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Donde se conclui que:

$$\sigma_{x'x'} = - \frac{\sigma_{xx}}{2} - \tau_{xy}$$

$$\sigma_{y'y'} = - \frac{\sigma_{xx}}{2} + \tau_{xy}$$

$$\tau_{x'y'} = \frac{\sigma_{xx}}{2}$$

$$\sigma_{z'z'} = \tau_{y'z'} = \tau_{x'z'} = 0$$

2.2.2.5. Estado de deformação específica no ponto O_2

De acordo com a equação (2.1.6.), o estado de deformação específica neste ponto é dado por:

$$\begin{Bmatrix} \epsilon_{x'x'} \\ \epsilon_{y'y'} \\ \epsilon_{x'y'} \end{Bmatrix} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\mu & 0 \\ -\mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\mu) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -\frac{\sigma_{xx}}{2} - \tau_{xy} \\ -\frac{\sigma_{xx}}{2} + \tau_{xy} \\ \frac{\sigma_{xx}}{2} \end{Bmatrix} + \alpha T \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Efetuada-se, obtêm-se as seguintes expressões para as deformações específicas no ponto:

$$\epsilon_{x'x'} = - \sigma_{xx} \frac{(1-\mu)}{2E} - \tau_{xy} \frac{(1+\mu)}{E} + \alpha T$$

$$\epsilon_{y'y'} = - \sigma_{xx} \frac{(1-\mu)}{2E} + \tau_{xy} \frac{(1+\mu)}{E} + \alpha T$$

$$\epsilon_{x'y'} = \sigma_{xx} \frac{(1+\mu)}{E}$$

2.2.2.6. Colocação dos extensômetros no ponto o_2

No ponto o_2 foram colocados dois extensômetros. O extensômetro A_2 , colocado na direção de x' , deverá acompanhar a deformação específica $e_{x'x'}$. O extensômetro B_2 , colocado na direção de y' , deverá acompanhar a deformação $e_{y'y'}$. De acordo com o item anterior, as deformações específicas e_{A_2} e e_{B_2} , sofridas pelos extensômetros A_2 e B_2 , respectivamente, são:

$$e_{A_2} = - \sigma_{xx} \frac{(1-\mu)}{2E} - \tau_{xy} \frac{(1+\mu)}{E} + \alpha T$$

$$e_{B_2} = - \sigma_{xx} \frac{(1-\mu)}{2E} + \tau_{xy} \frac{(1+\mu)}{E} + \alpha T$$

A figura 2.26 apresenta a disposição dos extensômetros A_2 e B_2 no ponto o_2

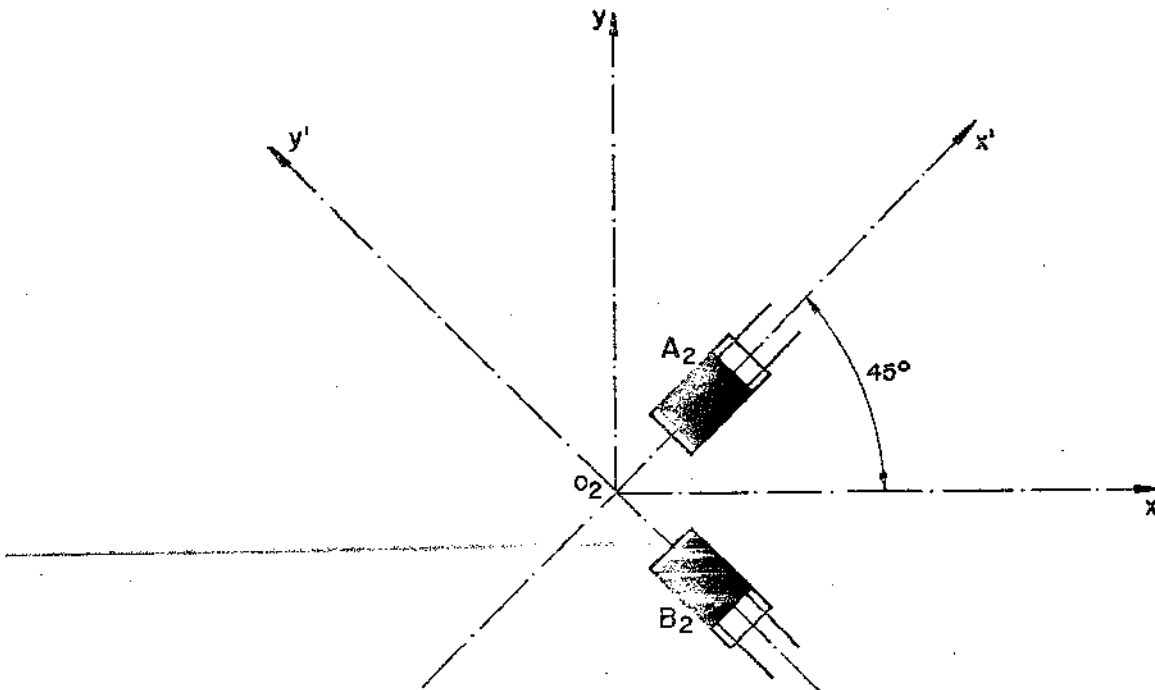


Fig. 2.26 - Disposição dos Extensômetros A_2 e B_2 no Ponto o_2

A figura 2.27 mostra a colocação dos extensômetros A_1 , B_1 , A_2 e B_2 no eixo.

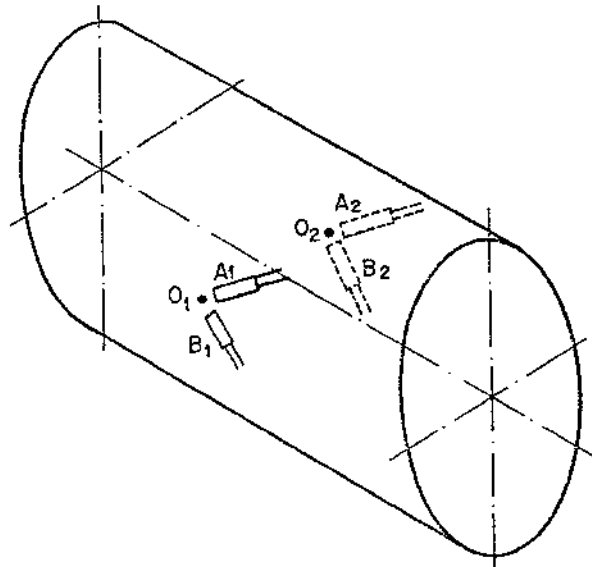


Fig. 2.27- Disposição dos extensômetros A_1 , A_2 , B_1 e B_2 no eixo

2.2.3. ESCOLHA DOS EXTENSÔMETROS DE MEDIDA

Foram utilizadas duas rosetas PHILIPS PR9845 K/Fe com as seguintes características [6]:

| | |
|--|--------------------------|
| TIPO | CHAPA METÁLICA |
| RESISTÊNCIA (R) | $120,0 \pm 0,5\% \Omega$ |
| CORRENTE MÁXIMA ADMISSÍVEL (i_{max}) | 20 mA |
| COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE (k) | $2,01 \pm 1\%$ |
| DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA MÁXIMA (ϵ_{max}) .. | ACIMA DE 4000 μd |

As rosetas utilizadas foram de um mesmo lote de fabricação de modo a facilitar o balanceamento das PONTES AMPLIFICADORAS.

2.2.4. ESQUEMA DAS LIGAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS PARA A DETERMINAÇÃO DO MOMENTO TORÇOR M_V4

Os extensômetros A_1 e A_2 foram acoplados em circuito de *PONTE DE WHEATSTONE* simples, formando a *Ponte A*, conforme mostra a figura 2.28.

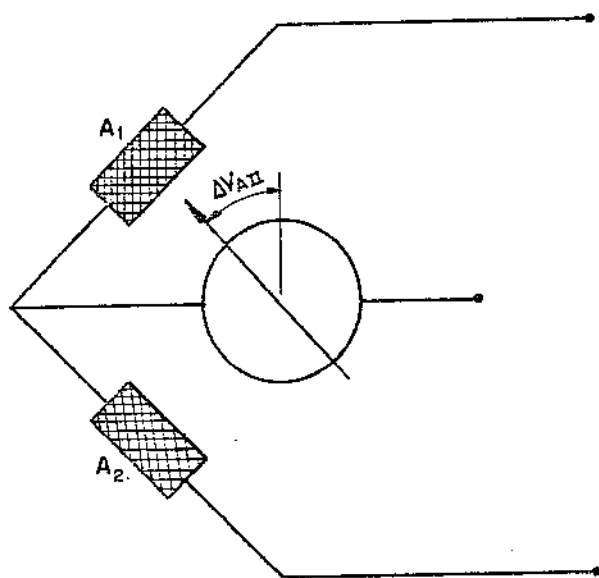


Fig. 2.28 - Ponte Wheatstone simples formada pelos extensômetros A_1 e A_2 (ponte A)

Os extensômetros B_1 e B_2 foram acoplados em circuito de *PONTE DE WHEATSTONE* simples, formando a *Ponte B*, conforme mostra a figura 2.29.

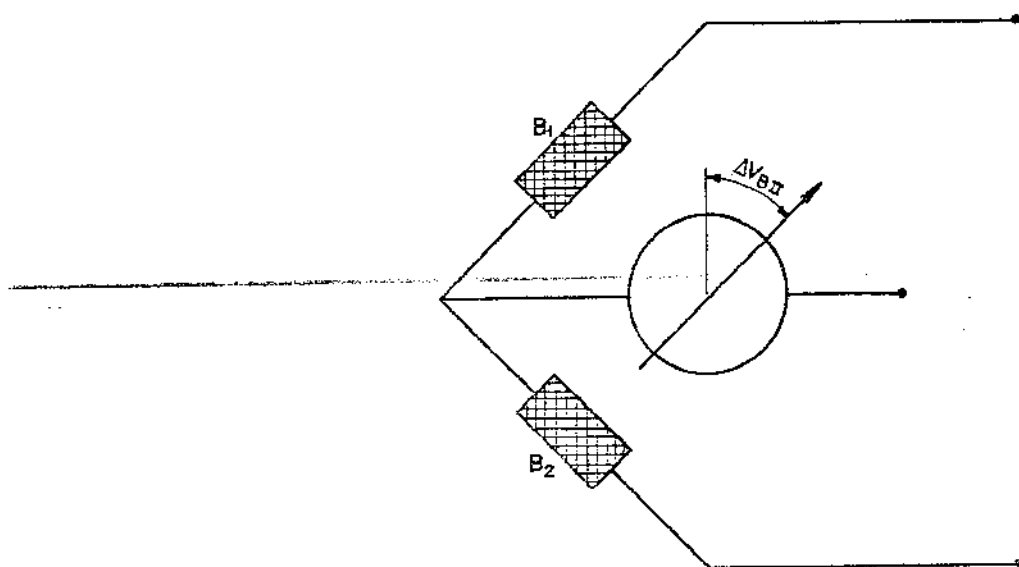


Fig. 2.29 - Ponte de Wheatstone simples formada pelos extensômetros B_1 e B_2 (ponte B)

A ligação entre os circuitos e as *PONTES AMPLIFICADORAS* foi feita através de um conjunto de escovas captadoras colocado na ponta do eixo (figura 2.30)

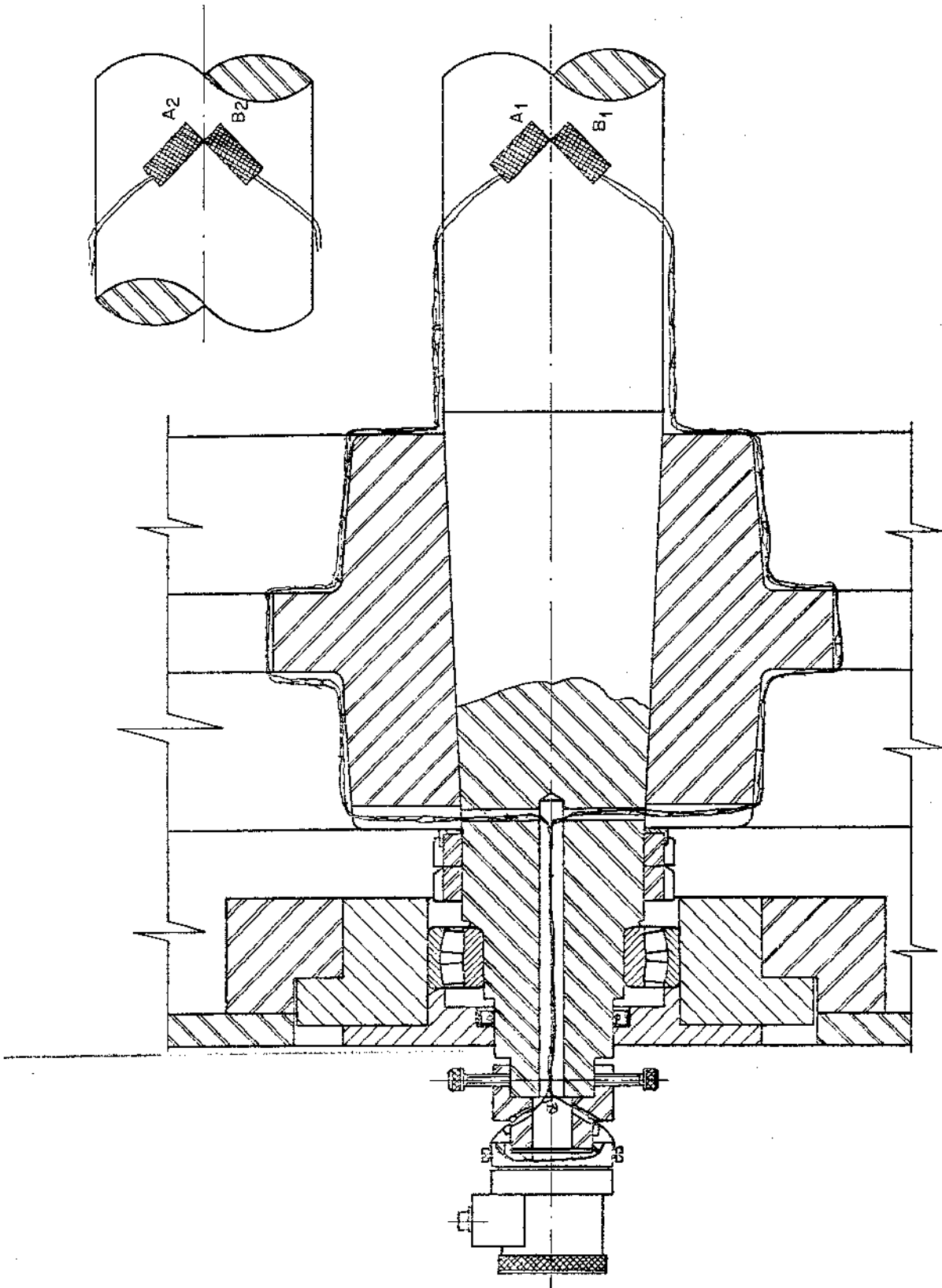


Fig. 2.30 - Esquema da Ligação entre o Circuito e a Ponte Amplificadora.

2.2.5. DETERMINAÇÃO DA TENSÃO DE SAÍDA DA PONTE A DO DINAMÔMETRO II (ΔV_{AII})

Sendo e_{A1} e e_{A2} as deformações específicas sofridas pelos extensômetros A_1 e A_2 , respectivamente, a tensão de saída da Ponte A será dada por [7]:

$$\Delta V_{AII} = \frac{V k}{4} (e_{A1} - e_{A2})$$

onde,

V = TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO DA PONTE

k = COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE DOS EXTENSÔMETROS

Substituindo-se e_{A1} e e_{A2} pelos valores obtidos nos itens 2.2.2.3. e 2.2.2.6, a expressão anterior resulta:

$$\Delta V_{AII} = \frac{V k}{4} \left[\sigma_{xx} \frac{(1-\mu)}{2E} + \tau_{xy} \frac{(1+\mu)}{E} + \alpha T + \sigma_{xx} \frac{(1-\mu)}{2E} + \tau_{xy} \frac{(1+\mu)}{E} - \alpha T \right]$$

ou ainda ,

$$\Delta V_{AII} = \frac{V k}{4} \left[\frac{(1-\mu)}{E} \sigma_{xx} + \frac{2(1+\mu)}{E} \tau_{xy} \right] \quad (2.2.3.)$$

2.2.6. DETERMINAÇÃO DA TENSÃO DE SAÍDA DA PONTE B DO DINAMÔMETRO II (ΔV_{BII})

Sendo e_{B1} e e_{B2} as deformações específicas sofridas pelos extensômetros B_1 e B_2 , respectivamente, a tensão de saída da Ponte B será dada por [7]:

$$\Delta V_{BII} = \frac{V k}{4} (e_{B1} - e_{B2})$$

Substituindo-se e_{B1} e e_{B2} pelos valores obtidos nos itens 2.2.2.3 e 2.2.2.6, a expressão anterior resulta:

$$\Delta V_{BII} = \frac{V k}{4} \left[\sigma_{xx} \frac{(1-\mu)}{2E} - \tau_{xy} \frac{(1+\mu)}{E} + \alpha T + \sigma_{xx} \frac{(1-\mu)}{2E} - \tau_{xy} \frac{(1+\mu)}{E} - \alpha T \right]$$

ou ainda,

$$\Delta V_{BII} = \frac{V k}{4} \left[\frac{(1-\mu)}{E} \sigma_{xx} - \frac{2(1+\mu)}{E} \tau_{xy} \right] \quad (2.2.4)$$

2.2.7. DETERMINAÇÃO DO MOMENTO TORÇOR ATUANTE NO EIXO PRINCIPAL DA MÁQUINA (M_{V4})

Subtraindo-se a equação (2.2.4) da equação (2.2.3), vem que:

$$\Delta V_{AII} - \Delta V_{BII} = \frac{V k (1+\mu)}{E} \tau_{xy} \quad (2.2.5)$$

Substituindo-se τ_{xy} por seu valor dado na equação (2.2.1), a expressão (2.2.5) torna-se:

$$\Delta V_{AII} - \Delta V_{BII} = \frac{16 V k (1+\mu)}{\pi d^3 E} M_{V4} \quad (2.2.6)$$

Portanto,

$$M_{V4} = \frac{\pi d^3 E}{16 V k (1+\mu)} (\Delta V_{AII} - \Delta V_{BII}) \quad (2.2.7)$$

As tensões de saída das pontes A e B , ou sejam, ΔV_{AII} e ΔV_{BII} , foram registradas com o propósito de se determinar suas variações diante das diversas condições de trabalho da máquina durante os ensaios. A figura 4.2 apresenta o registro destas tensões por ocasião do ensaio 24.

2.2.8. PREVISÃO DA SENSIBILIDADE DO DINAMÔMETRO II ATRAVÉS DOS CÁLCULOS REALIZADOS

De acordo com o item 2.1.7 e com a equação (2.2.6), a sensibilidade do dinamômetro será dada por:

$$S = \frac{\Delta V_{AII} - \Delta V_{BII}}{M_{V4}} = \frac{16 V k (1+\mu)}{\pi d^3 E}$$

Utilizando-se *PONTES AMPLIFICADORAS* marca *PHILIPS* modelo *PR9307* com tensão de alimentação 4 volts, a sensibilidade *S* resulta:

$$S = 0,000019 \text{ mV/kgf.cm}$$

Admitindo-se desprezível a influência de σ_{xx} , tem-se que (equações 2.2.3 e 2.2.4)

$$\Delta V_{AII} = - \Delta V_{BII}$$

Assim, a sensibilidade para cada ponte será:

$$S = \frac{\Delta V_{AII}}{M_{V4}} = \frac{0,000019}{2} = 0,0000095 \text{ mV/kgf.cm}$$

Utilizando-se uma amplificação da ponte de 50 divisões da escala do mostrador para 2 mV, a leitura para o momento torçor máximo de 160.000 kgf.cm (estimativa fornecida pelo fabricante da máquina) será 38 divisões da escala. Para uma divisão da escala do mostrador a leitura será 4210 kgf.cm/div. Portanto, empregando-se uma amplificação de 2 mV, o momento torçor mínimo mensurável é 4210 kgf.cm.

2.3. DINAMÔMETRO QUE DEVERÁ MEDIR A FORÇA AXIAL, P, NO EIXO PRINCIPAL (DINAMÔMETRO III)

2.3.1. GENERALIDADES

Na construção deste dinamômetro aproveitou-se o *Bujão* da máquina que, como foi dito no item 1.1, é a peça responsável pela absorção do esforço axial no eixo principal. Por razões de caráter construtivo e com o fito de se aumentar a sensibilidade do dinamômetro, fez-se na peça original um sangramento que se constituiu na *região de medida* (figura 2.31).

As deformações na *região de medida*, causadas pela ação do esforço axial originário do processo de extrusão, são acompanhadas por extensômetros elétricos convenientemente colados e ligados em circuito de *PONTE DE WHEATSTONE*. A alimentação do circuito, assim como a saída do sinal, é efetuada através de uma ponte amplificadora *PHILIPS* modelo *PR9307*.

O material empregado na construção do dinamômetro foi o aço *ABNT 4340* com as propriedades e características descritas no item 2.1.2.4.

O dimensionamento da *região de medida* foi realizado a partir do conhecimento de uma estimativa da força axial, fornecida pelo fabricante, e visando obter uma sensibilidade satisfatória para o dinamômetro. Desta forma, as dimensões da *região de medida* resultaram (figura 2.31):

DIÂMETRO EXTERNO = d_e = 199 mm

DIÂMETRO INTERNO = d_i = 190 mm

ESPESSURA DA PAREDE = e = 4,5 mm

COMPRIENTO-DE-MEDIDA = l = 35 mm

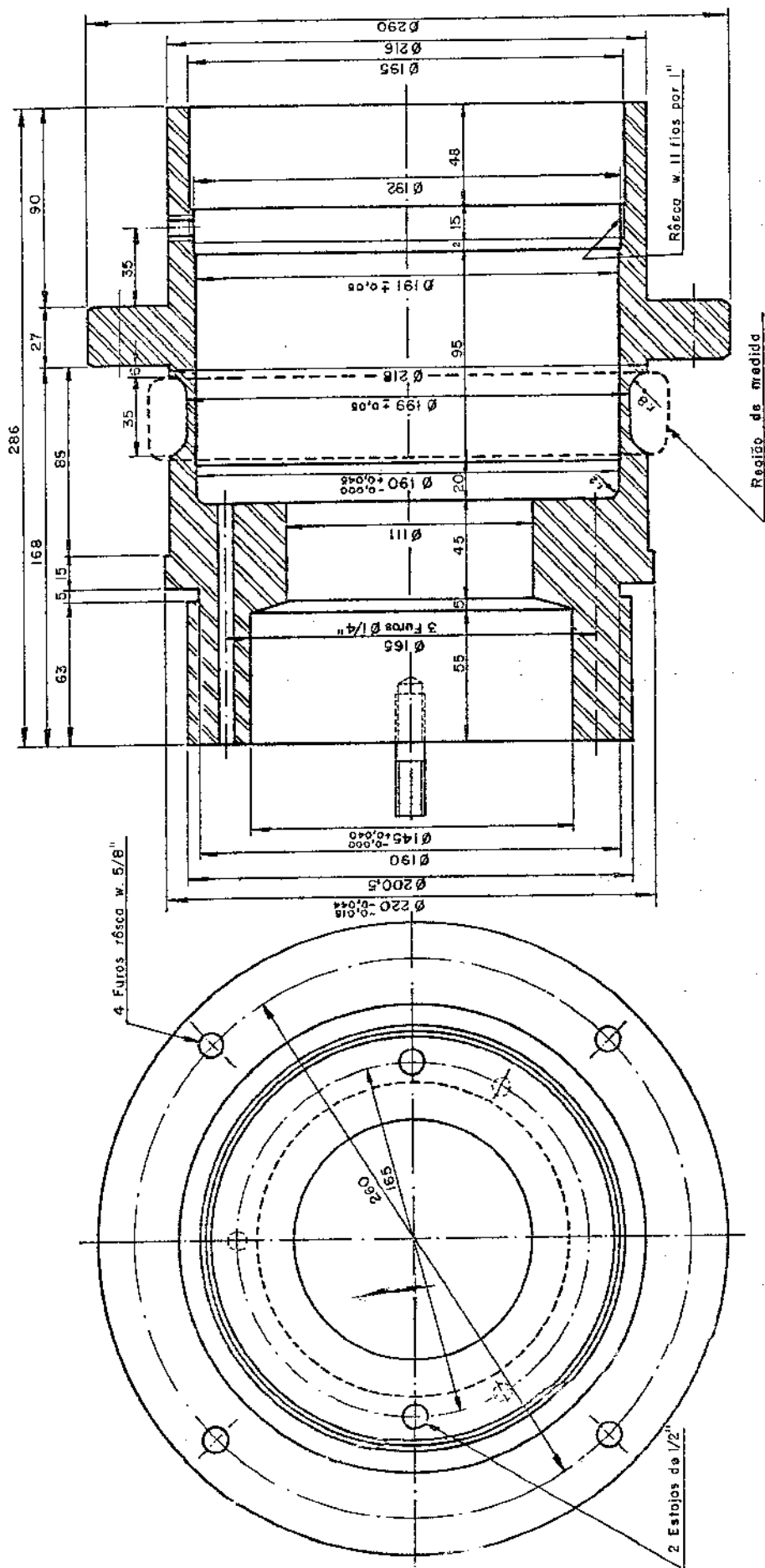


Fig. 2.31 - Região de medida do dinamômetro III

2.3.2. COLOCAÇÃO DOS EXTENSÔMETROS NA REGIÃO DE MEDIDA

Dado que o *Bujão* é a peça responsável pela absorção do esforço axial, admitiu-se inicialmente que estivesse submetido a tração pura. Consequentemente, todos os pontos da secção transversal da *região de medida* estão submetidos a um estado uniaxial de tensão. Para a colocação dos extensômetros foram estudados os estados de tensão em quatro pontos (θ_1 , θ_2 , θ_3 e θ_4) do contorno, sendo dois a dois diametralmente opostos, conforme mostra a figura 2.32.

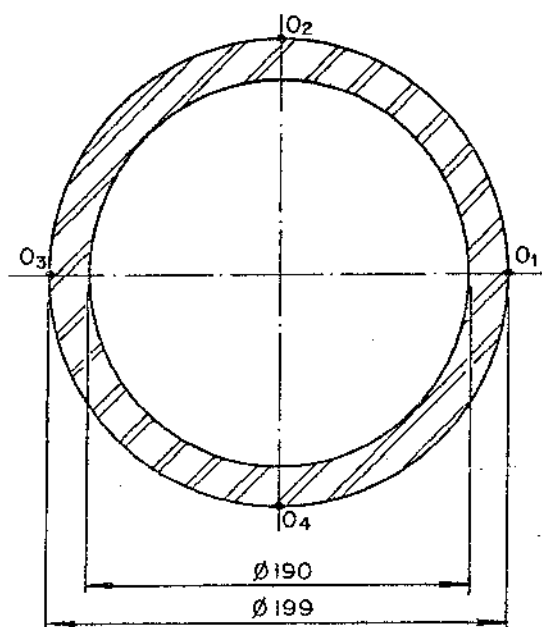


Fig. 2.32- Pontos $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ e θ_4 , do contorno, dois a dois diametralmente opostos.

2.3.2.1. Estudo do estado de tensão no ponto θ_1

Considerou-se, inicialmente, o sistema cartesiano de referência θ_1xyz associado ao ponto θ_1 representado na figura 2.33.

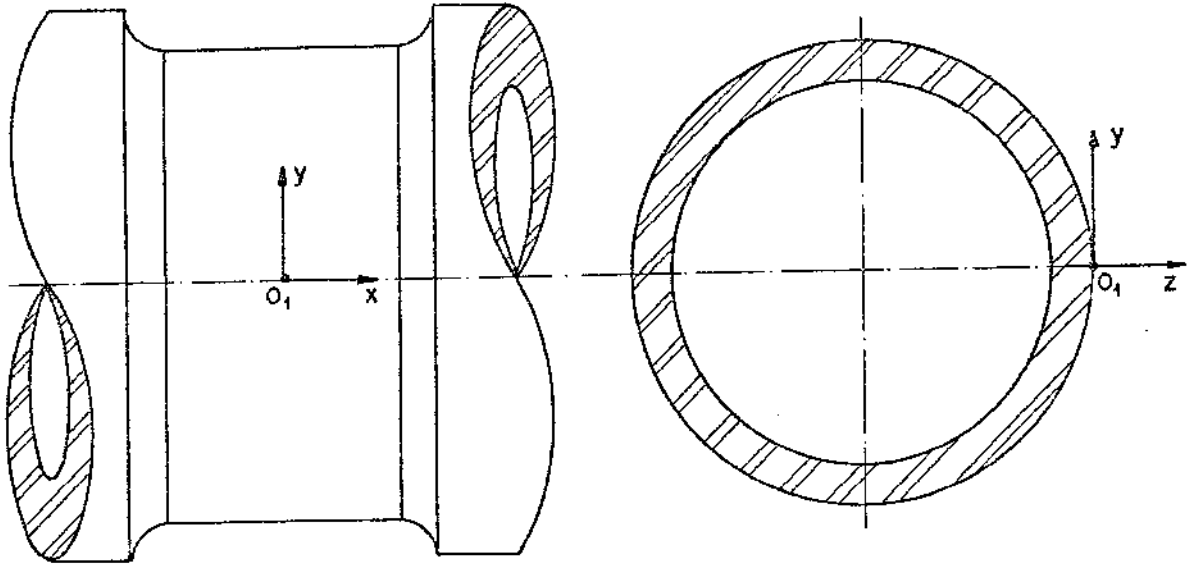


Fig. 2.33- Sistema de referência O_1xyz associado ao ponto O_1

Como foi exposto anteriormente, estando a *região de medida* submetida a tração pura, o estado de tensão no ponto O_1 é uniaxial, conforme mostra a figura 2.34.

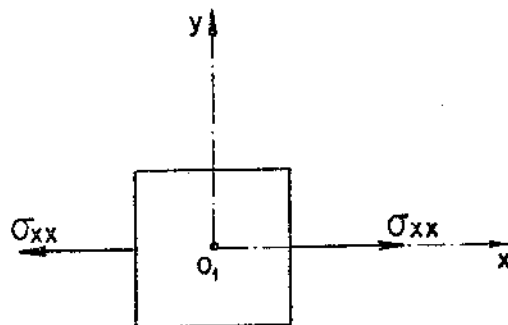


Fig. 2.34 - Estado de tensão no ponto O_1

Assim, o tensor de tensão no ponto segundo aquele sistema de referência será:

$$[T_\sigma]_{O_1} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

onde, σ_{xx} é a tensão normal devida a força axial de tração P .

Portanto,

$$\sigma_{xx} = \frac{4 P}{\pi [d_e^2 - d_i^2]} \quad (2.3.1)$$

O sistema de referência O_{1xyz} é conveniente para a colocação dos extensômetros, uma vez que se colocados segundo este sistema mediram, de fato, a tensão normal devida a força axial.

2.3.2.2. Estudo do estado de deformação específica no ponto O_1

O estado de deformação específica neste ponto será dado pela seguinte equação matricial [5]:

$$\{e\} = [\phi] \{\sigma\} + \{e_T\}$$

onde,

$$\{e\} = \begin{Bmatrix} e_{xx} \\ e_{yy} \\ e_{xy} \end{Bmatrix} \quad [\phi] = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\mu & 0 \\ -\mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\mu) \end{bmatrix}$$

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \{e_T\} = \alpha T \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Desta forma, a equação matricial anterior torna-se:

$$\begin{Bmatrix} e_{xx} \\ e_{yy} \\ e_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\mu & 0 \\ -\mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\mu) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} + \alpha T \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Resolvendo-se, obtêm-se as seguintes expressões para as deformações específicas no ponto:

$$e_{xx} = \frac{\sigma_{xx}}{E} + \alpha T$$

$$e_{yy} = -\mu \frac{\sigma_{xx}}{E} + \alpha T$$

$$e_{xy} = 0$$

2.3.2.3. Colocação dos extensômetros no ponto θ_1

No ponto θ_1 foram colocados dois extensômetros. O extensômetro A_1 , colocado na direção de x , deverá acompanhar a deformação específica e_{xx} . O extensômetro B_1 , colocado na direção de y , deverá acompanhar a deformação específica e_{yy} . De acordo com o item anterior, as deformações específicas e_{A_1} e e_{B_1} sofridas pelos extensômetros A_1 e B_1 , respectivamente, são:

$$e_{A_1} = \frac{\sigma_{xx}}{E} + \alpha T$$

$$e_{B_1} = -\mu \frac{\sigma_{xx}}{E} + \alpha T$$

A figura 2.35 mostra a disposição dos extensômetros A_1 B_1 no ponto θ_1

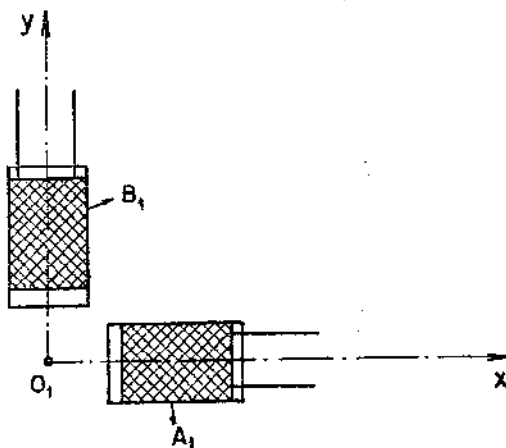


Fig. 2.35 - Disposição dos extensômetros A_1 e B_1 no ponto O_1

2.3.2.4. Estudo do estado de tensão e deformação específica nos pontos O_2 , O_3 e O_4

Os pontos O_2 , O_3 e O_4 estão submetidos ao mesmo estado de tensão do ponto O_1 e portanto, o desenvolvimento é análogo. A figura 2.36 apresenta os sistemas cartesianos de referência associados a cada um destes pontos.

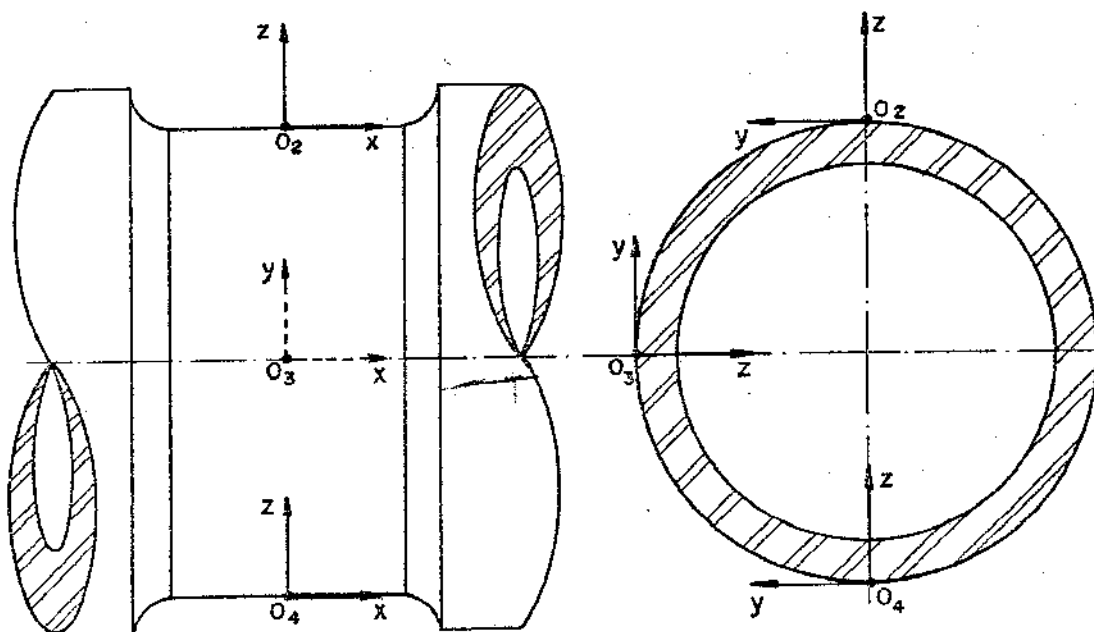


Fig. 2.36 - Sistemas de referência O_2xyz , O_3xyz e O_4xyz associados aos pontos O_2 , O_3 e O_4 , respectivamente

Assim, as deformações específicas em cada ponto segundo seu sistema de referência são:

$$e_{xx} = \frac{\sigma_{xx}}{E} + \alpha T$$

$$e_{yy} = -\mu \frac{\sigma_{xx}}{E} + \alpha T$$

2.3.2.5. Colocação dos extensômetros nos pontos 0₂, 0₃ e 0₄

Em cada ponto foram colocados dois extensômetros, sendo um na direção de x (extensômetro A) e outro na direção de y (extensômetro B). De acordo com o item anterior as deformações específicas sofridas pelos extensômetros A e B de cada ponto são:

$$e_{A_2} = e_{A_3} = e_{A_4} = e_{xx} = \frac{\sigma_{xx}}{E} + \alpha T$$

$$e_{B_2} = e_{B_3} = e_{B_4} = e_{yy} = -\mu \frac{\sigma_{xx}}{E} + \alpha T$$

A disposição dos extensômetros em cada ponto está representada na figura 2.37.

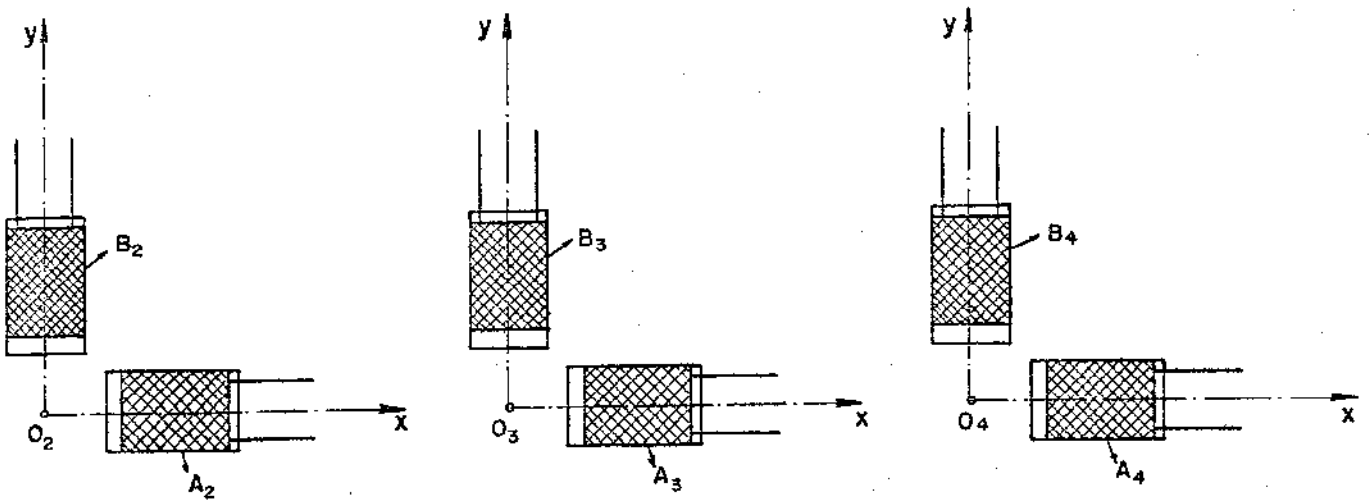


Fig. 2.37 - Disposição dos extensômetros nos pontos O_2 , O_3 e O_4

A figura 2.38 mostra a colocação dos extensômetros A_1 , B_1 , A_2 , B_2 , A_3 , B_3 , A_4 e B_4 na região de medida.

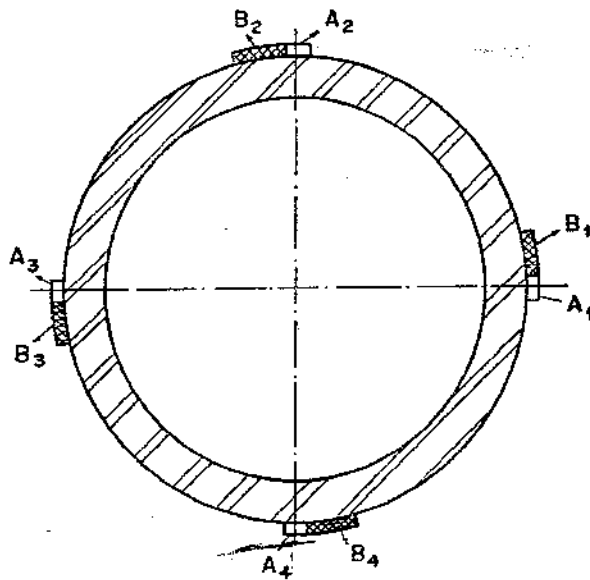


Fig. 2.38 - Colocação dos extensômetros A_1 , B_1 , A_2 , B_2 , A_3 , B_3 , A_4 e B_4 na região de medida.

2.3.3. ESCOLHA DOS EXTENSÔMETROS DE MEDIDA

Foram utilizados oito extensômetros *PHILIPS PR 9832K/10 Fe* com as seguintes características [6]:

| | |
|---|-------------------------|
| TIPO | CHAPA METÁLICA |
| RESISTÊNCIA (R) | $600 \pm 0,25\% \Omega$ |
| CORRENTE MÁXIMA ADMISSÍVEL (i_{max}) | 20 mA |
| COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE (k) | $2,03 \pm 1\%$ |
| DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA MÁXIMA (ϵ_{max}) | ACIMA DE 4000 μd |

Os extensômetros utilizados foram de um mesmo lote de fabricação de modo a facilitar o balanceamento da *PONTE AMPLIFICADORA*.

2.3.4. ESQUEMA DAS LIGAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS PARA A DETERMINAÇÃO DA FORÇA AXIAL P

Os extensômetros $A_1, B_1, A_2, B_2, A_3, B_3, A_4$ e B_4 foram acoplados em circuito de *PONTE DE WHEATSTONE* completa, conforme mostra a figura 2.39. A disposição dos extensômetros em cada ramo da *PONTE* é de forma a compensar qualquer excentricidade na aplicação da força axial.

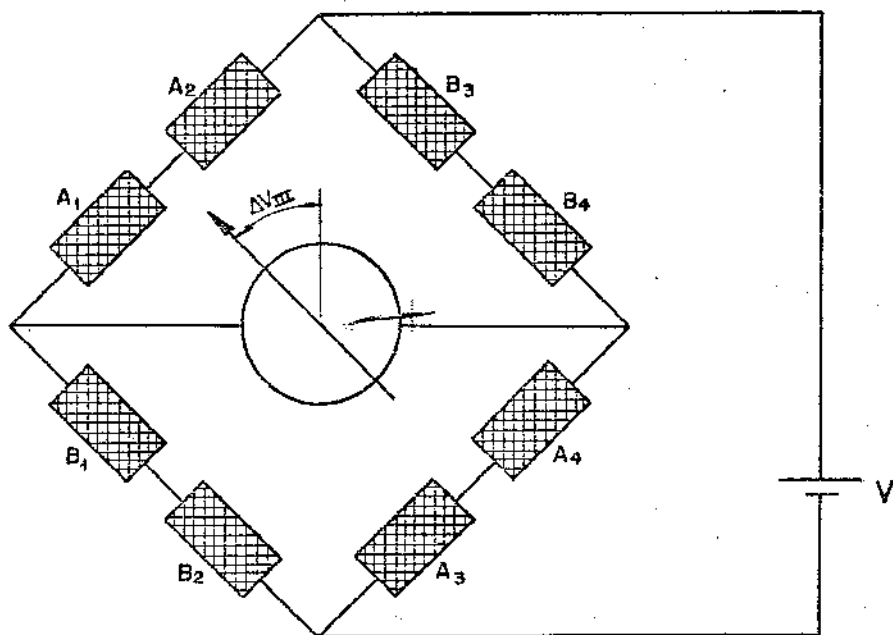


Fig. 2.39 - Esquema de ligação dos extensômetros na região de medida para a determinação da força axial P

2.3.5. DETERMINAÇÃO DA TENSÃO DE SAÍDA DA PONTE AMPLIFICADORA DO DINAMÔMETRO III (ΔV_{III})

Sendo e_{A_1} , e_{B_1} , e_{A_2} , e_{B_2} , e_{A_3} , e_{B_3} , e_{A_4} e e_{B_4} as deformações específicas sofridas pelos extensômetros A_1 , B_1 , A_2 , B_2 , A_3 , B_3 , A_4 e B_4 , respectivamente, a tensão de saída da PONTE AMPLIFICADORA será dada por [7]:

$$\Delta V_{III} = \frac{V k}{4} (e_{A_1} + e_{A_2} - e_{B_1} - e_{B_2} + e_{A_3} + e_{A_4} - e_{B_3} - e_{B_4})$$

onde,

V = TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO DA PONTE

k = COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE DOS EXTENSÔMETROS

Substituindo-se as deformações específicas de cada extensômetro pelos valores obtidos nos itens 2.3.2.3 e 2.3.2.5, a equação anterior torna-se:

$$\Delta V_{III} = \frac{V k}{4} \left(\frac{\sigma_{XX}}{E} + \alpha T + \frac{\sigma_{XX}}{E} + \alpha T + \mu \frac{\sigma_{XX}}{E} - \alpha T + \mu \frac{\sigma_{XX}}{E} - \alpha T + \frac{\sigma_{XX}}{E} + \right. \\ \left. + \alpha T + \frac{\sigma_{XX}}{E} + \alpha T + \mu \frac{\sigma_{XX}}{E} - \alpha T + \mu \frac{\sigma_{XX}}{E} - \alpha T \right)$$

Portanto,

$$\Delta V_{III} = \frac{V k (1+\mu)}{E} \sigma_{XX}$$

Substituindo-se σ_{XX} por seu valor dado na equação (2.3.1), obtêm-se:

$$\Delta V_{III} = \frac{4 V k (1+\mu)}{E \pi (d_e^2 - d_i^2)} P \quad (2.3.2)$$

2.3.6. PREVISÃO DA SENSIBILIDADE DO DINAMÔMETRO III ATRAVÉS DOS CÁLCULOS REALIZADOS

De acordo com o item 2.1.7. e com a equação (2.3.2) a sensibilidade do dinamômetro será dada por:

$$S = \frac{\Delta V_{III}}{P} = \frac{4 V k (1+\mu)}{E \pi (d_e^2 - d_i^2)}$$

Utilizando-se *PONTE AMPLIFICADORA* marca *PHILIPS* modelo *PR 9307* com tensão de alimentação 10 Volts, a sensibilidade *S* resulta:

$$S = 0,450269 \text{ mV/tf}$$

Utilizando-se uma amplificação da ponte de 50 divisões da escala do mostrador para 20 mV, a leitura para a força axial máxima de 40 tf (estimativa fornecida pelo fabricante) será 45 divisões da escala. Para uma divisão da escala do mostrador a leitura será 0,889 tf/div.

Assim, empregando-se uma amplificação de 20 mV, a força axial mínima mensurável é 0,889 tf.

+

2.4. EXECUÇÃO DOS DINAMÔMETROS

Os dinamômetros foram usinados pela *MECÂNICA BONFANTI S.A.* segundo orientação e desenhos fornecidos pelo autor. Em seguida, foram trazidos ao *CENTRO DE TECNOLOGIA DA UNICAMP* para colagem dos extensômetros, soldagem dos circuitos elétricos, vedação e aferição no que se refere aos dinamômetros I e III. Finalmente, foram devolvidos à *MECÂNICA BONFANTI S.A.* para a montagem da máquina.

Os desenhos de detalhes dos dinamômetros encontram-se na *SECÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UNICAMP.*

CAPÍTULO III

AFERIÇÃO DOS DINAMÔMETROS

3.1. GENERALIDADES

A aferição dos dinamômetros consiste em se obter a relação existente entre as leituras, y_i , nas *Pontes Amplificadoras* e os respectivos esforços aplicados, x_i , ou seja, a função $y_i=f(x_i)$ onde x_i é a variável independente e y_i a variável dependente. No caso de dinamômetros, para se determinar esta função faz-se uma *Regressão Linear* por método estatístico obtendo-se a seguinte equação [9]:

$$y_i = a + b(x_i - \bar{x})$$

que dá a distribuição de y_i para cada x_i a partir de uma amostra de n pares de valores:

$$x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$$

$$y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n$$

onde,

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i (x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Entretanto, para a utilização do dinamômetro, necessita-se da função $x_i=f(y_i)$ onde x_i é agora a variação dependente e y_i a variável independente. Torna-se necessário, então, fazer a inversão da reta de regressão $y_i=f(x_i)$, sendo que o intervalo de confiança da nova função é estimado utilizando-se o teorema de *FIELLER* [10]:

Assim, dada a reta de regressão:

$$y_i = a + b(x_i - \bar{x})$$

obtida a partir do conjunto de pontos:

$$\begin{array}{l} x_1 - Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{1j}, \dots, Y_{1n_1} \\ x_2 - Y_{21}, Y_{22}, \dots, Y_{2j}, \dots, Y_{2n_2} \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ x_i - Y_{i1}, Y_{i2}, \dots, Y_{ij}, \dots, Y_{in_i} \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ x_k - Y_{k1}, Y_{k2}, \dots, Y_{kj}, \dots, Y_{kn_k} \end{array}$$

sendo que x é uma variável não aleatória de tamanho k , tal que para cada valor x_i de x corresponde um número n_i de observações da variável aleatória y .

Aplicando-se o teorema de FIELLER, a equação da reta inversa resulta:

$$x_i = \bar{x} + \frac{b(\hat{y}_i - a)}{b^2 - \frac{t^2 S_*^2}{\sum_{i=1}^k n_i (x_i - \bar{x})^2}} \quad (3.1.1)$$

e o erro de x_i será dado por:

$$\Delta x_i = \frac{t S_*}{b^2 - \frac{t^2 S_*^2}{\sum_{i=1}^k n_i (x_i - \bar{x})^2}} \left\{ \left[b^2 - \frac{t^2 S_*^2}{\sum_{i=1}^k n_i (x_i - \bar{x})^2} \right] \frac{1}{m} \frac{1}{n} + \frac{(\hat{y}_i - a)^2}{\sum_{i=1}^k n_i (x_i - \bar{x})^2} \right\}^{1/2} \quad (3.1.2)$$

onde,

$$n = \sum_{i=1}^k n_i \quad (3.1.3)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i x_i}{n} \quad (3.1.4)$$

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}}{n_i} \quad (3.1.5)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{y}_i}{k} \quad (3.1.6)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^k n_i (x_i - \bar{x}) \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^k n_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.1.7)$$

$$s^2_* = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{n-k} \quad (3.1.8)$$

t = depende do número n de observações e da confiança desejada.

\hat{y}_i = média baseada em m observações, todas elas presu-
postas como provenientes de um mesmo porém des-
conhecido valor de x_i .

3.2. DINAMÔMETRO I

A aferição deste dinamômetro foi feita aplicando-se ao eixo momentos torçores, M_I , desde zero até 5693 kgf.cm em três

séries de carregamentos e descarregamentos. A cada momento aplicado determinou-se na *Ponte Amplificadora* a tensão de saída, ΔV_I , correspondente, conforme mostra a TABELA III.1.

Os momentos torçores foram aplicados ao eixo através de uma alavanca, suficientemente rígida, na extremidade da qual foram colocados pesos aferidos.

Fazendo-se $(M_I)_i = x_i$ (MOMENTO TORÇOR APLICADO) e

$(\Delta V_I)_i = y_i$ (TENSÃO DE SAÍDA DA PONTE), para os pares de valores x_i, y_i , obtidos durante a aferição calculou-se a função $x_i = f(y_i)$, através do teorema de *FIELLER* (item 3.1).

TABELA III.1 - VALORES DAS LEITURAS OBTIDAS NA AFERIÇÃO DINAMÔMETRO I

| M_I [kgf.cm] | ENSAIO I | | ENSAIO II | | ENSAIO III | | \bar{Y}_i |
|-------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| | ΔV_I [mV] | ΔV_I [mV] | ΔV_I [mV] | ΔV_I [mV] | ΔV_I [mV] | ΔV_I [mV] | |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,008 |
| 293,04 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,350 |
| 893,04 | 0,85 | 0,85 | 0,80 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,842 |
| 1.493,04 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,400 |
| 2.093,04 | 1,90 | 1,90 | 1,90 | 1,90 | 1,90 | 1,90 | 1,900 |
| 2.693,04 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,400 |
| 3.293,04 | 2,90 | 2,95 | 2,95 | 2,90 | 2,95 | 2,90 | 2,925 |
| 3.893,04 | 3,45 | 3,45 | 3,45 | 3,45 | 3,45 | 3,45 | 3,450 |
| 4.493,04 | 3,95 | 4,00 | 4,00 | 3,95 | 4,00 | 3,95 | 3,975 |
| 5,093,04 | 4,45 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,492 |
| 5.693,04 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,000 |
| onde | $\bar{Y}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}}{n_i}$ | | | | | | |

De acordo com a TABELA III.1, tem-se:

$k = 11$ (número de variáveis independentes)

$n = 66$ (número total de observações)
 $n_i = 6$ (número de observações para cada esforço aplicado)
 $t = 1,96$ ($n > 30$ e 95% de confiança)

Aplicando-se, agora, as equações (3.1.4) a (3.1.8), obtêm-se:

$$\bar{x} = 2720,95$$

$$a = 2,430$$

$$b = 0,000869 \qquad b^2 = 0,000000755$$

$$S^2_* = 0,00025 \qquad S_* = 0,01581$$

$m = 1$ (para uma leitura em cada momento torçor aplicado durante a utilização do dinamômetro).

Substituindo-se estes valores nas equações (3.1.1) e (3.1.2), obtêm-se as seguintes expressões para o momento torçor M_I e seu erro ΔM_I :

$$M_I = 2720,95 + 1150,99 (\Delta V_I - 2,43) \qquad (3.2.1)$$

$$\Delta M_I = 41043,16 \sqrt{0,000000766 + \frac{(\Delta V_I - 2,43)^2}{227063391,5}} \qquad (3.2.2)$$

onde,

ΔV_I = LEITURA NA PONTE AMPLIFICADORA EM mV.

M_I = MOMENTO TORÇOR APLICADO NO DINAMÔMETRO EM kgf.cm

ΔM_I = ERRO DO MOMENTO TORÇOR APLICADO EM FUNÇÃO DE UMA DETERMINADA LEITURA NA PONTE AMPLIFICADORA

O erro relativo $\Delta M_I / M_I$ encontra-se representado na curva da figura 3.1 como função da leitura ΔV_I . Esta curva mostra que para leituras superiores a 1 mV o erro relativo do momento torçor M_I é inferior a 3,35% com 95% de confiança.

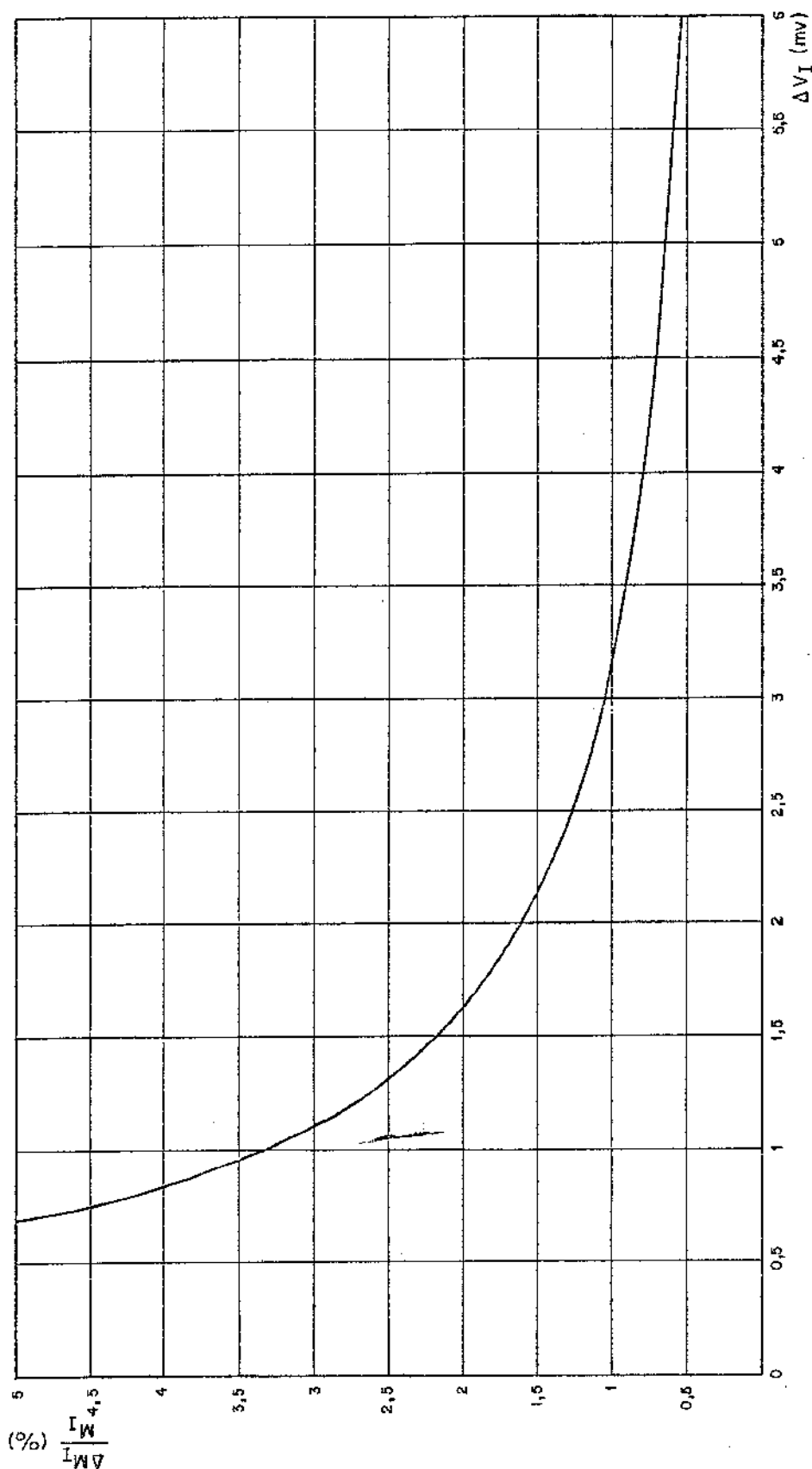


Fig. 3.1 - Erro relativo do momento torçor M_I em função das leituras na ponte

A figura 3.2 apresenta a *CURVA DE AFERIÇÃO* do dinamômetro com os respectivos erros.

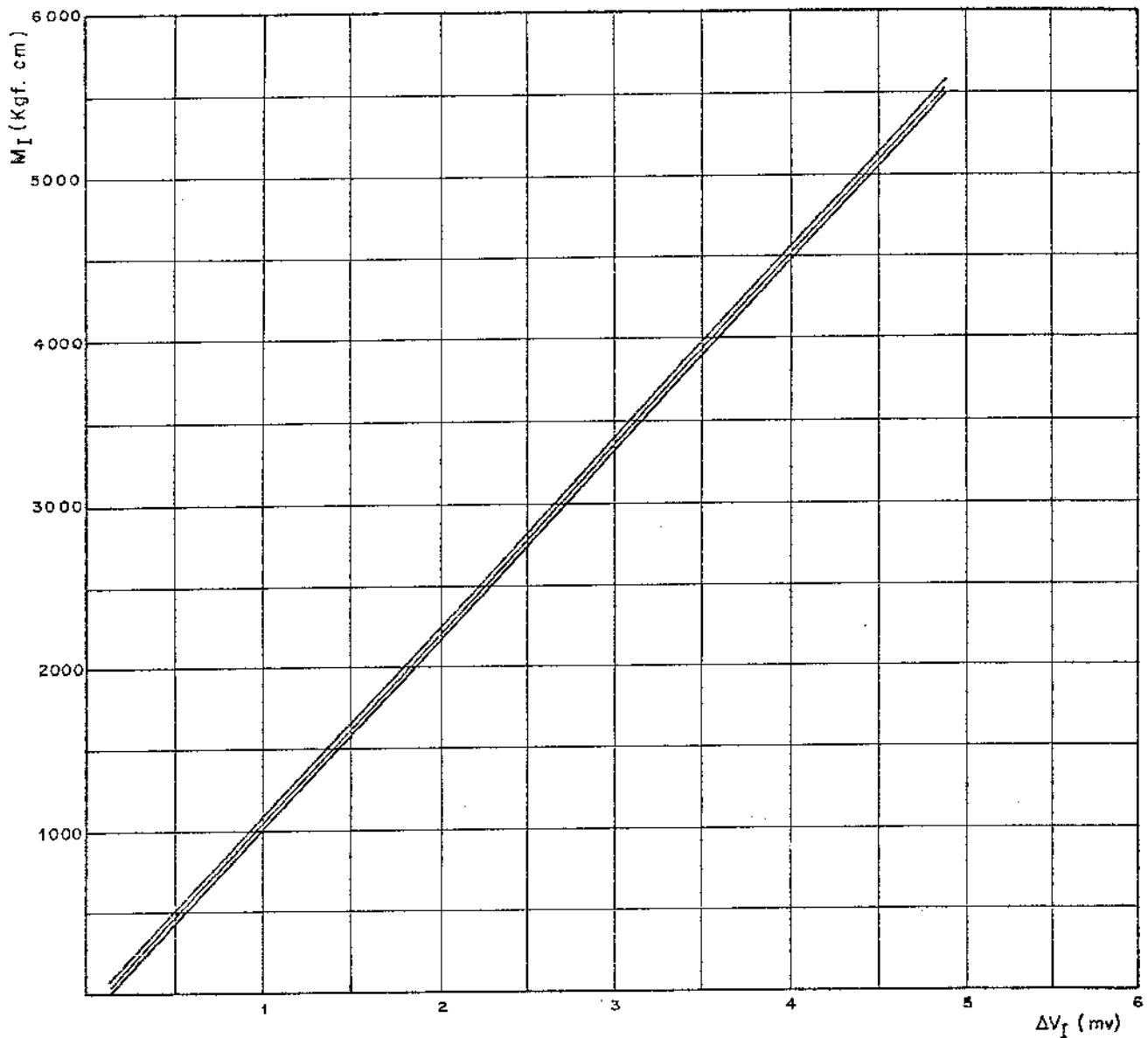


Fig.3.2 - Curva de aferição do dinamômetro I com os respectivos erros

3.3. DINAMÔMETRO II

Dada a impossibilidade de se reproduzir na aferição as condições reais de trabalho, este dinamômetro não foi aferido. O momento torçor M_{V4} , atuante no eixo principal da máquina, foi determinado através da equação (2.2.7), obtida teoricamente no item 2.2.7.

3.4. DINAMÔMETRO III

A aferição deste dinamômetro foi realizada com o auxílio da máquina de ensaio de compressão "ALFRED J. AMSLER" do INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DA U.S.P.

Com o propósito de se reproduzir na aferição as condições reais de trabalho, as cargas foram aplicadas ao *Bujão* através do próprio rolamento da máquina como se indica na figura 3.3.

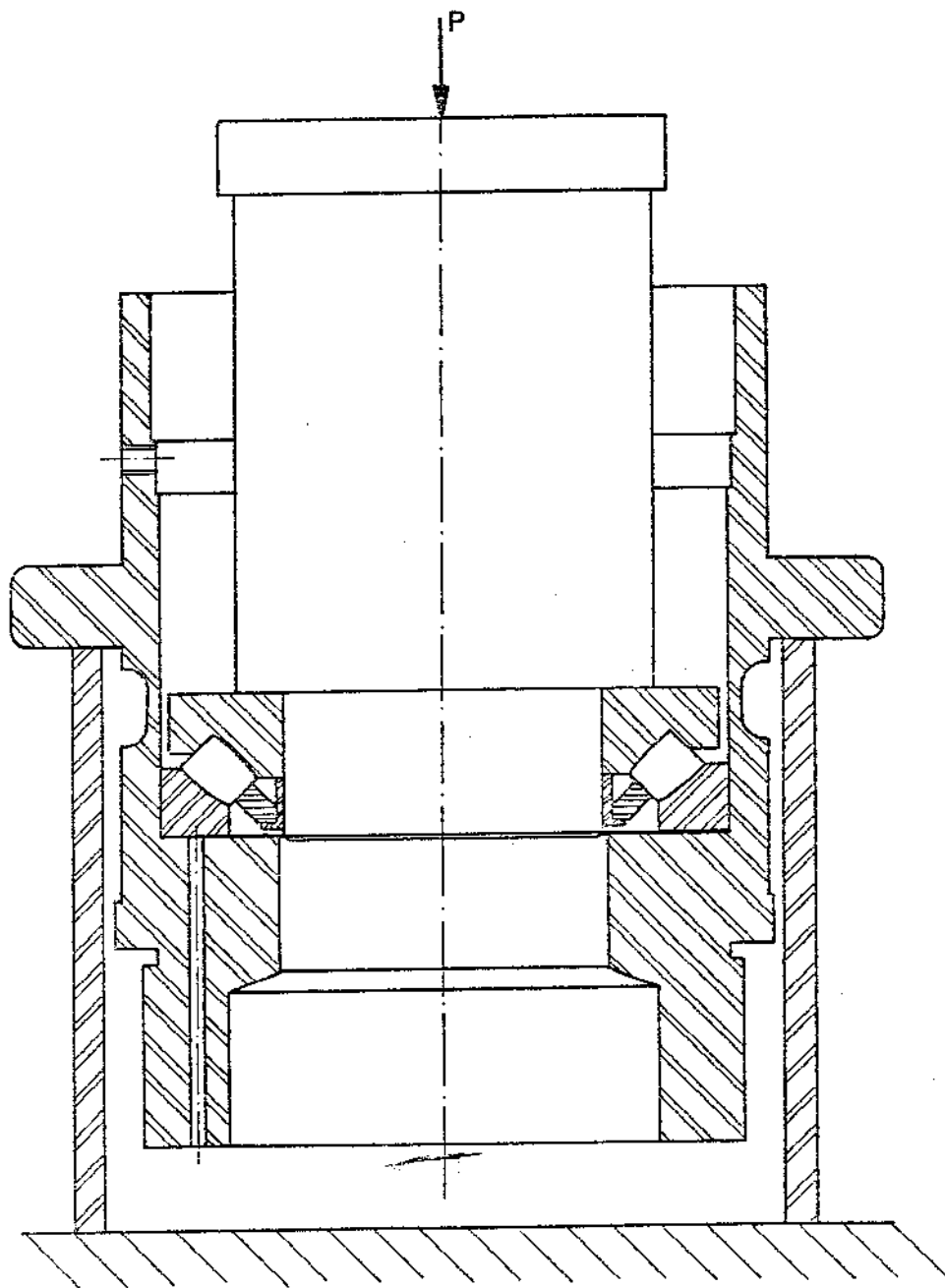


Fig. 3.3 - Situação de Carregamento para aferição do dinamômetro III

Foram feitas duas séries de carregamento, tendo-se aplicado cargas axiais, P , desde zero até 40 tf. A cada carga aplicada de-

terminou-se na PONTE AMPLIFICADORA a tensão de saída, ΔV_{III} , correspondente, conforme mostra a TABELA III.2.

Fazendo-se $(P)_i = x_i$ (FORÇA AXIAL APLICADA) e $(\Delta V_{III})_i = y_i$ (TENSÃO DE SAÍDA DA PONTE), para os pares de valores x_i, y_i , obtidos durante a aferição, calculou-se a função $x_i = f(y_i)$, através do teorema de FIELLER (item 3.1).

TABELA III.2 - VALORES DAS LEITURAS OBTIDAS NA AFERIÇÃO DO DINAMÔMETRO III.

| | ENSAIO I | ENSAIO II | |
|-----------|---|--------------------------|-------------|
| P [tf] | ΔV_{III} [mV] | ΔV_{III} [mV] | \bar{y}_i |
| 0 | 0,00 | 0,00 | 0,000 |
| 2 | 0,15 | 0,15 | 0,150 |
| 4 | 0,39 | 0,36 | 0,375 |
| 6 | 0,61 | 0,60 | 0,605 |
| 8 | 0,80 | 0,80 | 0,800 |
| 10 | 1,00 | 1,00 | 1,000 |
| 12 | 1,15 | 1,15 | 1,150 |
| 14 | 1,35 | 1,32 | 1,335 |
| 16 | 1,50 | 1,50 | 1,500 |
| 18 | 1,70 | 1,65 | 1,675 |
| 20 | 1,80 | 1,80 | 1,800 |
| 22 | 2,00 | 2,00 | 2,000 |
| 24 | 2,10 | 2,12 | 2,110 |
| 26 | 2,30 | 2,30 | 2,300 |
| 28 | 2,45 | 2,45 | 2,450 |
| 30 | 2,65 | 2,65 | 2,650 |
| 32 | 2,80 | 2,80 | 2,800 |
| 34 | 3,00 | 3,00 | 3,000 |
| 36 | 3,20 | 3,20 | 3,200 |
| 38 | 3,40 | 3,42 | 3,410 |
| 40 | 3,60 | 3,65 | 3,625 |
| onde | $\bar{y}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}}{n_i}$ | | |

De acordo com a TABELA III.2, tem-se:

$$\begin{aligned}k &= 21 \text{ (número de variáveis independentes)} \\n &= 42 \text{ (número total de observações)} \\n_i &= 2 \text{ (número de observações para cada carga)} \\t &= 1,96 \text{ (n>30 e 95\% de confiança)}\end{aligned}$$

Aplicando-se, agora, as equações (3.1.4) a (3.1.8), obtêm-se:

$$\bar{x} = 20,00$$

$$a = 1,8064$$

$$b = 0,08756 \qquad b^2 = 0,007667$$

$$S_*^2 = 0,000183 \qquad S_* = 0,01354$$

$m = 1$ (para uma leitura em cada carga aplicada durante a utilização do dinamômetro).

Substituindo-se estes valores nas equações (3.1.1) e (3.1.2), obtêm-se as seguintes expressões para a força axial P e seu erro ΔP :

$$P = 20,00 + 11,11 (\Delta V_{III} - 1,81) \qquad (3.3.1)$$

$$\Delta P = 3,46 \sqrt{0,007849 + \frac{(\Delta V_{III} - 1,8064)^2}{6160,00}} \qquad (3.3.2)$$

onde,

ΔV_{III} = LEITURA NA PONTE AMPLIFICADORA EM mV.

P = FORÇA AXIAL APLICADA NO DINAMÔMETRO EM tf.

ΔP = ERRO DA FORÇA AXIAL APLICADA EM FUNÇÃO DE UMA DETERMINADA LEITURA NA PONTE AMPLIFICADORA.

O erro relativo $\Delta P/P$ encontra-se representado na curva da figura (3.4) como função da leitura ΔV_{III} . Esta curva mostra que para leituras superiores a 0,95 mV, o erro relativo da força axial P é inferior a 3% com 95% de confiança.

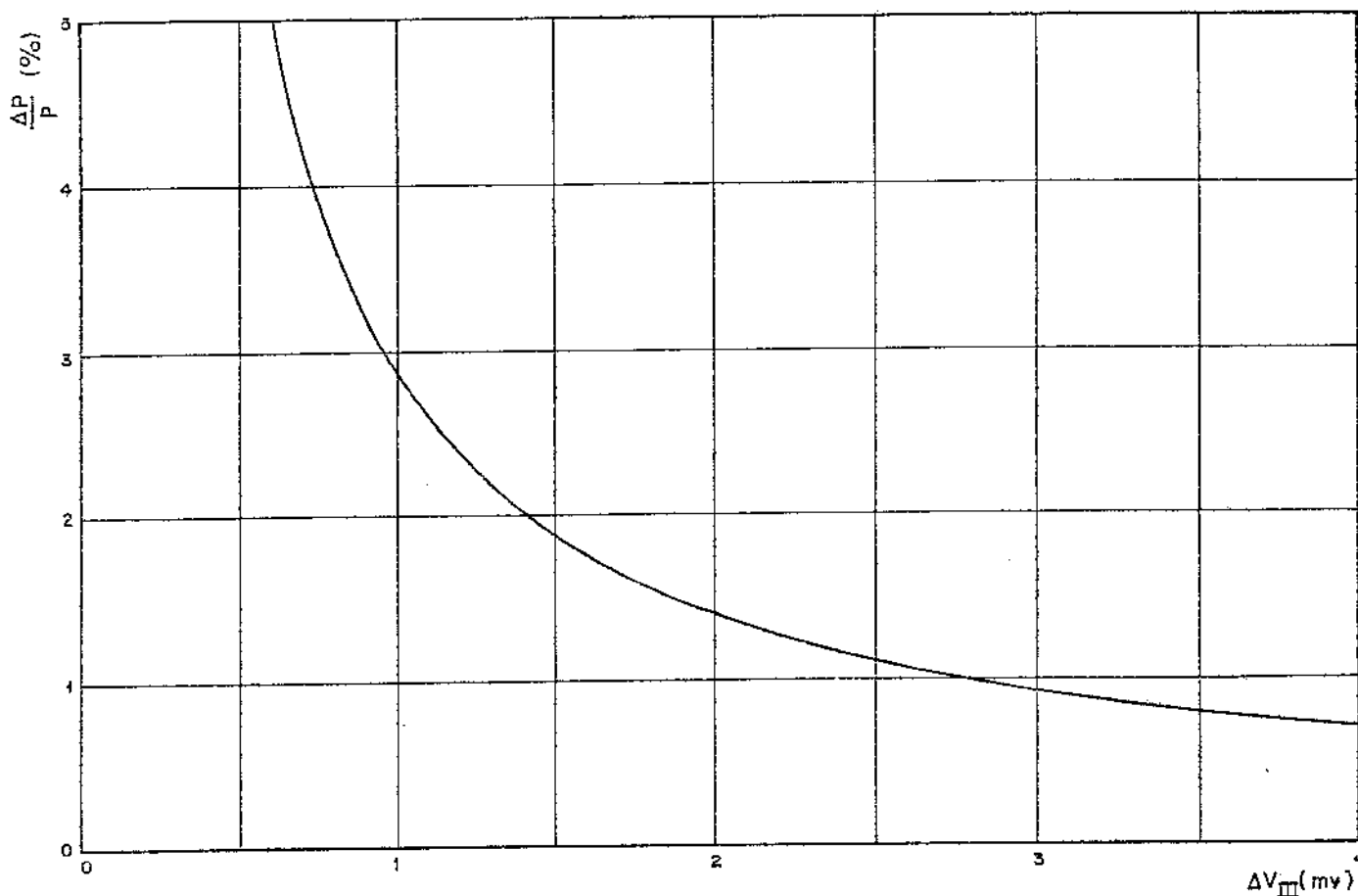


Fig.3.4 - Erro relativo da força axial, P , em função das leituras, ΔV_{III}

A figura 3.5 apresenta a CURVA DE AFERIÇÃO do dinamômetro com os respectivos erros.

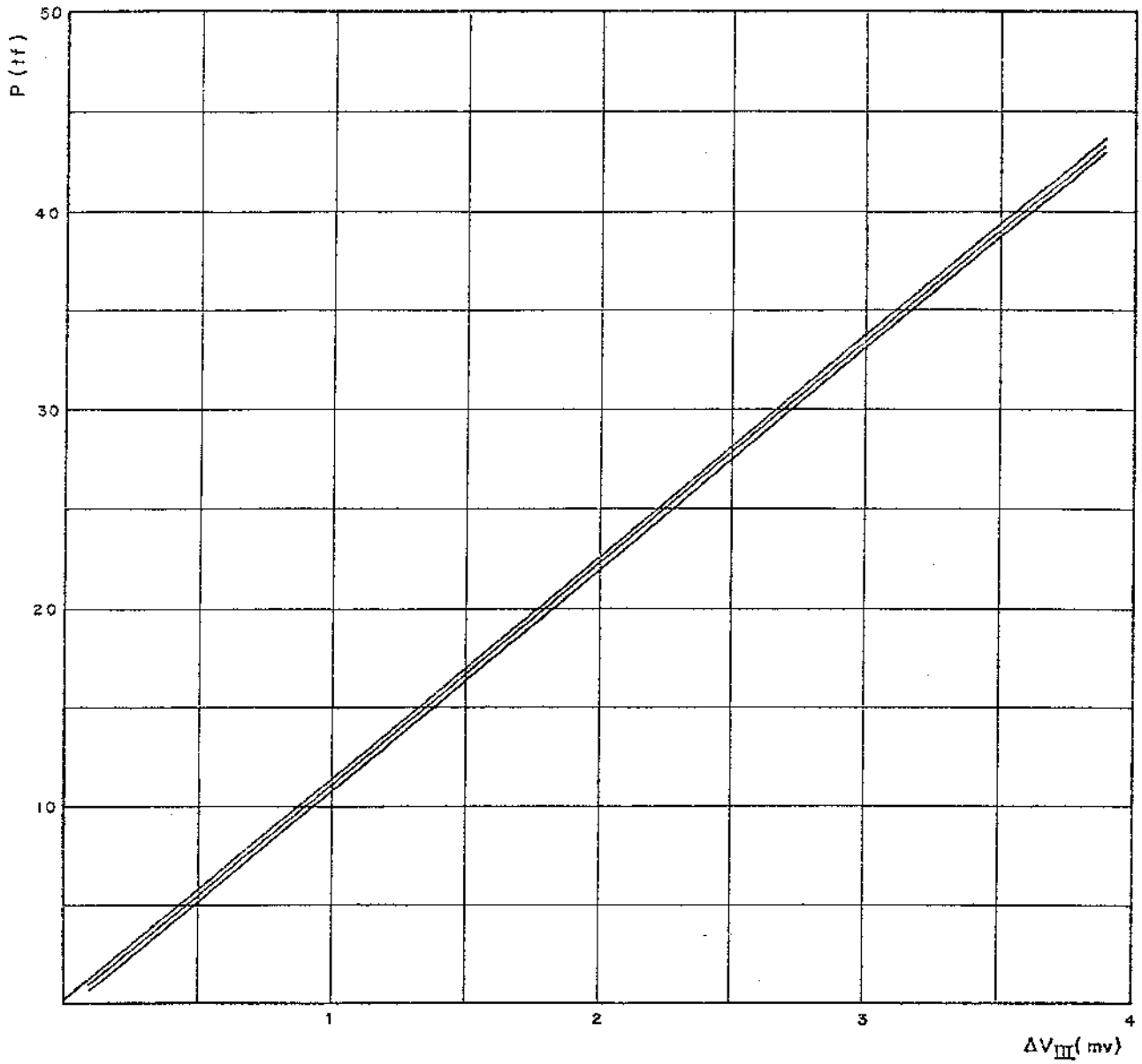


Fig. 3.5 - Curva de aferição do dinamômetro III com os respectivos erros

CAPÍTULO IV

ENSAIO E RESULTADOS EXPERIMENTAIS

4.1. GENERALIDADES

O ensaio foi realizado na *CERÂMICA SANTA INÊS, VINHEDO, S.P.*, em dois dias com a máquina operando nas mais variadas condições de trabalho nas unidades normais da matéria prima durante a produção. No total, foram realizados 28 ensaios, sendo que em cada um deles determinaram-se 20 momentos torçores do eixo de acionamento, 20 momentos torçores no eixo principal e 20 forças axiais (TABELAS IV.1, IV.2 e IV.3).

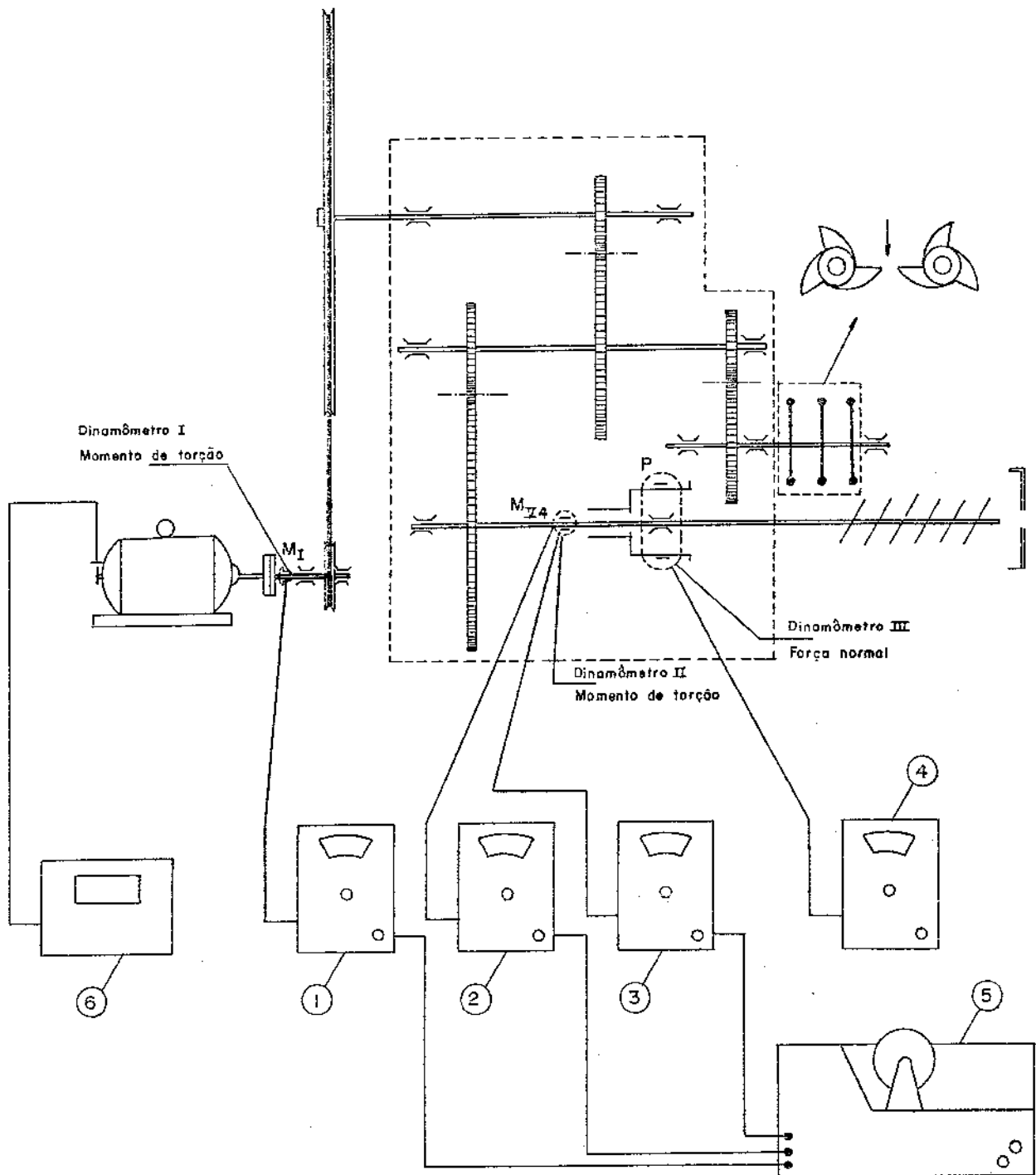
A figura 4.1 apresenta o esquema de montagem dos aparelhos.

4.2. ENSAIO COM O DINAMÔMETRO I

Como foi exposto anteriormente, no item 2.1.6, a tensão de saída da ponte, ΔV_I , foi lançada em um registrador e registrada em folha de papel milimetrado, conforme mostra a figura 4.2. Antes do ensaio, procedeu-se ao balanceamento da *PONTE* e registrou-se o sinal de *ZERO*. Em seguida, fez-se uma aferição da *PONTE* para determinar a correspondência entre *MILÍMETRO* e *MILIVOLT* (figura 4.3). Assim, por meio de uma simples medida no papel milimetrado pode-se determinar a tensão de saída ΔV_I , e consequentemente, através da equação (3.2.1), o momento torçor M_I em cada instante do ensaio. Em cada ensaio foram realizadas 20 medidas e determinados 20 momentos torçores conforme mostram a figura 4.2 e a TABELA IV.1 que apresentam os resultados experimentais do ENSAIO 24.

4.3. ENSAIO COM O DINAMÔMETRO II

Como foi exposto anteriormente, no item 2.2.7, as tensões de saída das *PONTES A* e *B*, ou sejam, ΔV_{AII} e ΔV_{BII} respectivamente, foram lançadas em um registrador e registradas em folha de papel milimetrado, conforme mostra a figura 4.2. Antes do en-



- ① : Ponte Amplificadora do Dinamômetro I
- ② : "Ponte A" do Dinamômetro II
- ③ : "Ponte B" do Dinamômetro II
- ④ : Ponte Amplificadora do Dinamômetro III
- ⑤ : Registrador
- ⑥ : Estroboscópio

Fig. 4.1 - Esquema de Montagem dos Aparelhos Utilizados

saio foram feitos os balanceamentos das *PONTES A* e *B* e registrados os respectivos sinais de *ZERO*. Em seguida, procedeu-se a uma aferição de cada uma destas *PONTES* para se determinar as correspondências entre *MILIMETRO* e *MILIVOLT* (figura 4.3). Assim, por meio de duas medidas no papel milimetrado puderam-se obter as tensões de saída ΔV_{AII} e ΔV_{BII} , e conseqüentemente, através da equação (2.2.7), o momento torçor M_{V4} em cada instante do ensaio. Em cada ensaio foram realizadas 20 medidas de cada uma das tensões de saída e determinados 20 momentos torçores conforme mostram a figura 4.2 e a TABELA IV.2 que apresentam os resultados experimentais do ensaio 24.

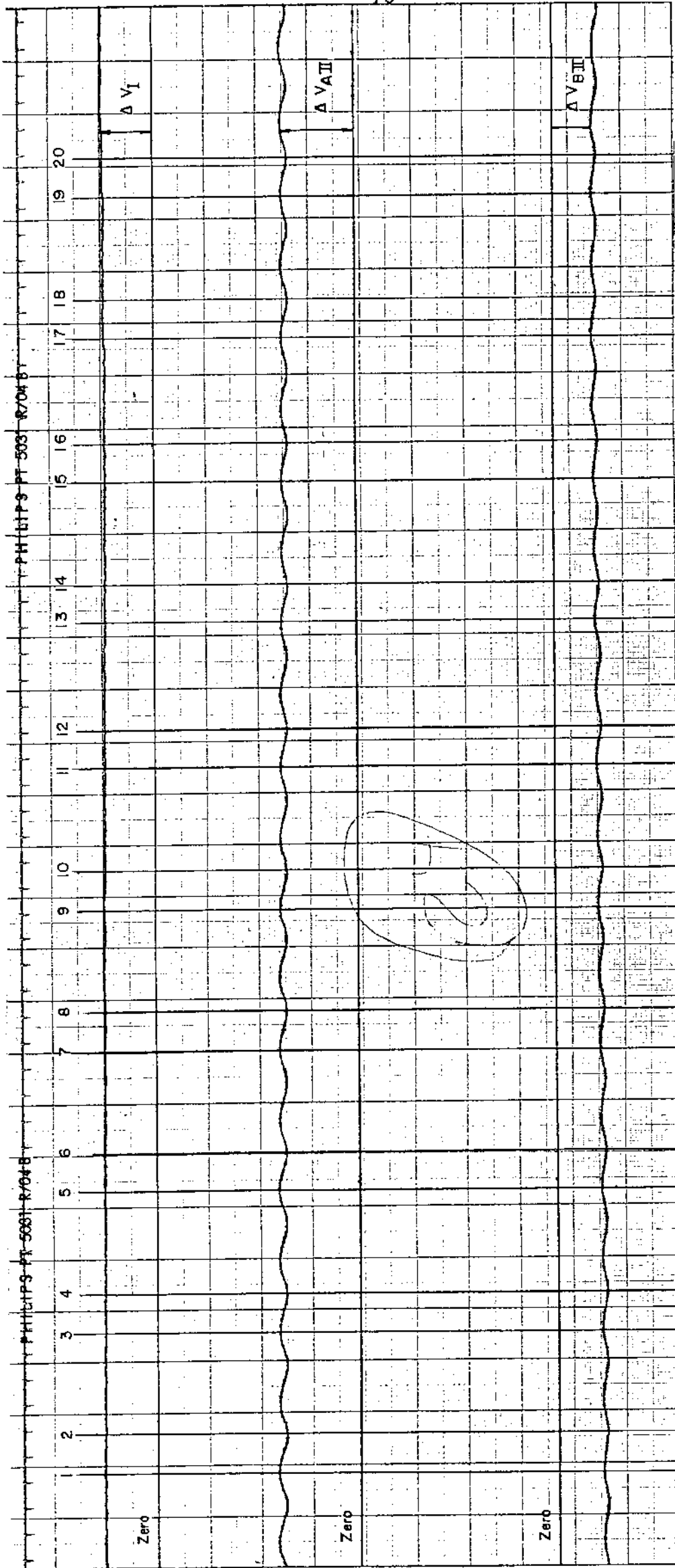


Fig. 4.2: Registro do ensaio nº 24

ΔV_I = tensão de saída da ponte do dinamômetro I

ΔV_{AII} = tensão de saída da "ponte A" do dinamômetro II

ΔV_{BII} = tensão de saída da "ponte B" do dinamômetro II

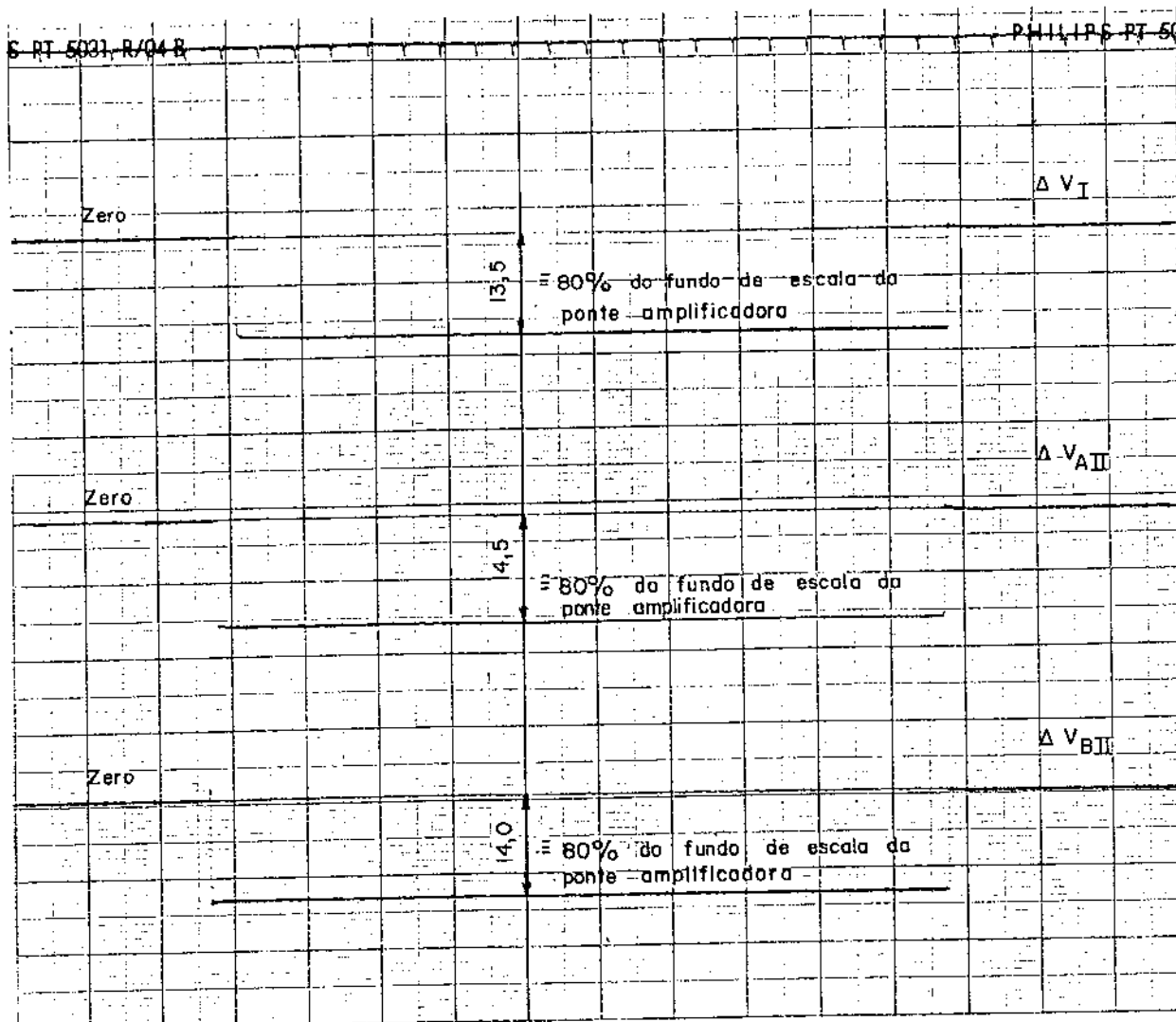


Fig. 4.3. - Aferição da ponte do dinamômetro I e das pontes A e B do dinamômetro II.

TABELA IV.1 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS DO MOMENTO TORÇOR M_I DURANTE O ENSAIO 24

| ENSAIO | PONTO DE MEDIDA | MEDIDA [mm] | FATOR [mV/mm] | ΔV_I [mV] | M_I [kgf.cm] |
|--------|-----------------|-------------|---------------|-------------------|----------------|
| | 1 | 10,0 | 0,296 | 2,96 | 3.332 |
| | 2 | 10,0 | 0,296 | 2,96 | 3.332 |
| | 3 | 10,0 | 0,296 | 2,96 | 3.332 |
| | 4 | 10,0 | 0,296 | 2,96 | 3.332 |
| | 5 | 10,0 | 0,296 | 2,96 | 3.332 |
| | 6 | 10,0 | 0,296 | 2,96 | 3.332 |
| | 7 | 10,0 | 0,296 | 2,96 | 3.332 |
| | 8 | 10,0 | 0,296 | 2,96 | 3.332 |
| 24 | 9 | 10,0 | 0,296 | 2,96 | 3.332 |
| | 10 | 10,0 | 0,296 | 2,96 | 3.332 |
| | 11 | 9,5 | 0,296 | 2,81 | 3.161 |
| | 12 | 9,5 | 0,296 | 2,81 | 3.161 |
| | 13 | 9,5 | 0,296 | 2,81 | 3.161 |
| | 14 | 9,5 | 0,296 | 2,81 | 3.161 |
| | 15 | 9,5 | 0,296 | 2,81 | 3.161 |
| | 16 | 9,5 | 0,296 | 2,81 | 3.161 |
| | 17 | 9,5 | 0,296 | 2,81 | 3.161 |
| | 18 | 9,5 | 0,296 | 2,81 | 3.161 |
| | 19 | 9,5 | 0,296 | 2,81 | 3.161 |
| | 20 | 9,5 | 0,296 | 2,81 | 3.161 |

TABELA IV.2 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS DO MOMENTO TORÇOR M_{V4} DURANTE O ENSAIO 24

| ENSAIO | PONTO DE MEDIDA | PONTE A | | | PONTE B | | | M_{V4} [kgf.cm] |
|--------|-----------------|-------------|---------------|------------------------|-------------|---------------|------------------------|----------------------|
| | | MEDIDA [mm] | FATOR [mV/mm] | $\Delta V_{A,II}$ [mV] | MEDIDA [mm] | FATOR [mV/mm] | $\Delta V_{B,II}$ [mV] | |
| | 1 | 15,5 | 0,110 | 1,70 | -3,5 | 0,114 | -0,97 | 141.444 |
| | 2 | 14,5 | 0,110 | 1,59 | -9,5 | 0,114 | -1,08 | 141.650 |
| | 3 | 15,5 | 0,110 | 1,70 | -8,5 | 0,114 | -0,97 | 141.444 |
| | 4 | 14,5 | 0,110 | 1,59 | -9,5 | 0,114 | -1,08 | 141.650 |
| | 5 | 15,5 | 0,110 | 1,70 | -8,5 | 0,114 | -0,97 | 141.444 |
| | 6 | 14,5 | 0,110 | 1,59 | -9,5 | 0,114 | -1,08 | 141.650 |
| | 7 | 15,0 | 0,110 | 1,65 | -8,5 | 0,114 | -0,97 | 138.533 |
| | 8 | 14,0 | 0,110 | 1,54 | -9,5 | 0,114 | -1,08 | 138.739 |
| 24 | 9 | 15,0 | 0,110 | 1,65 | -8,0 | 0,114 | -0,91 | 135.520 |
| | 10 | 14,0 | 0,110 | 1,54 | -9,0 | 0,114 | -1,02 | 135.726 |
| | 11 | 15,0 | 0,110 | 1,65 | -8,0 | 0,114 | -0,91 | 135.520 |
| | 12 | 14,0 | 0,110 | 1,54 | -9,0 | 0,114 | -1,02 | 135.726 |
| | 13 | 14,5 | 0,110 | 1,59 | -8,0 | 0,114 | -0,91 | 132.610 |
| | 14 | 13,5 | 0,110 | 1,48 | -9,0 | 0,114 | -1,02 | 132.816 |
| | 15 | 14,0 | 0,110 | 1,54 | -8,0 | 0,114 | -0,91 | 129.700 |
| | 16 | 13,0 | 0,110 | 1,43 | -9,0 | 0,114 | -1,02 | 129.905 |
| | 17 | 14,0 | 0,110 | 1,54 | -7,5 | 0,114 | -0,85 | 126.686 |
| | 18 | 13,0 | 0,110 | 1,43 | -8,5 | 0,114 | -0,97 | 126.892 |
| | 19 | 14,0 | 0,110 | 1,54 | -7,5 | 0,114 | -0,85 | 126.686 |
| | 20 | 13,0 | 0,110 | 1,43 | -8,5 | 0,114 | -0,97 | 126.892 |

4.4. DETERMINAÇÃO DOS MOMENTOS TORÇORES ATUANTES NOS DIVERSOS EIXOS DA MÁQUINA

Tendo-se determinado o momento torçor no eixo de acionamento, M_I , e o momento torçor no eixo principal, M_{V4} , puderam-se calcular, através das equações fornecidas nos itens 1.2 e 1.3, os momentos torçores em todos os eixos da máquina. Para tanto, fez-se um *PROGRAMA COMPUTACIONAL* onde os dados de entrada eram as *MEDIDAS EM MILÍMETROS* e os *FATORES DE CORRESPONDÊNCIA MILIMETRO E MILIVOLT DE CADA PONTE* em cada ensaio. Este *PROGRAMA* é o apresentado a seguir.

```
SUBROUTINE EPSNVO(FAT,ME,MV,EPS,A)
REAL ME,MV
MV=FAT*ME
EPS=A*MV
RETURN
END
```

```
REAL MEDE(3,32,20),MT1(32,10),MT2(32,10),MT3(32,10)
REAL MT3LI(32,10),MT3LC(32,10),MT3LLT(32,10),MT3LLC(32,10)
REAL MT5I(32,10),MT5C(32,10),MI
DIMENSION DI(10),ETA(10),FATOR(3,32,20),DEV(32,10),EPS1(32,10)
DIMENSION DVA(2,32,20),DVB(2,32,20),EPA(2,32,20),EPB(2,32,20)
DIMENSION EPAT(32,10),EPBT(32,10),EPAC(32,10),EPBC(32,10)
DIMENSION DVAT(32,10),DVBT(32,10),DVAC(32,10),DVBC(32,10)
DIMENSION TAXYT(32,10),TAXYC(32,10)
KO=1
K1=2
K2=3
READ(2,102)NI,NJ,NK,KSEP
READ(2,101)A,MI,E,D
READ(2,103)(DI(K),K=1,6)
READ(2,104)(ETA(K),K=1,8)
READ(2,105)CA,CL
DO 817 I=1,NI
DO 889 J=1,NJ
READ(2,124)FATOR(KO,I,J),MEDE(KO,I,J)
124 FORMAT(2F)
889 CONTINUE
817 CONTINUE
DO 13 I=1,NI
DO 15 J=1,NK
READ(2,111)FATOR(K1,I,J),MEDE(K1,I,J),FATOR(K2,I,J),MEDE(K2,I,J)
111 FORMAT(4F)
15 CONTINUE
13 CONTINUE
WRITE(5,102)NI,NJ,NK,KSEP
WRITE(5,101)A,MI,E,D
WRITE(5,103)(DI(K),K=1,6)
WRITE(5,104)(ETA(K),K=1,8)
WRITE(5,105)CA,CL
102 FORMAT(4I4)
101 FORMAT(4F)
103 FORMAT(6F)
104 FORMAT(8F)
105 FORMAT(2F)
DO 709 JAZ=1,20
WRITE(5,959)
959 FORMAT(///,20X,'I N I C I O D A S T A B E L A S')
709 CONTINUE
DO 201 I=1,NI
DO 202 J=1,NJ
A1=FATOR(KO,I,J)
A2=MEDE(KO,I,J)
CALL EPSNVO(A1,A2,VM,EPX,A)
DEV(I,J)=VM
EPS1(I,J)=EPX
MT1(I,J)=CA*DEV(I,J)-CL
202 CONTINUE
201 CONTINUE
DO 214 I=1,NI
```

```
DO 212 J=1,NK
AB1=FATOR(K1,I,J)
AB2=MEDE(K1,I,J)
AB3=FATOR(K2,I,J)
AB4=MEDE(K2,I,J)
CALL EPSNVO(AB1,AB2,DVAX,EPAX,A)
DVA(K1,I,J)=DVAX
EPA(K1,I,J)=EPAX
CALL EPSNVO(AB3,AB4,DVBX,EPBX,A)
DVB(K2,I,J)=DVBX
EPB(K2,I,J)=EPBX
212 CONTINUE
DO 390 IAZ=1,10
WRITE(5,301)I
301 FORMAT(//,40X,'ENSAIO NUMERO      'I2,///)
390 CONTINUE
WRITE(5,551)
551 FORMAT(///,20X,'VALORES DE DVA,EPA,DVB E EPB ',//,25X,'DVA',20X,'E
*PA',20X,'DVB',20X,'EPB',//)
DO 556 J=1,NK
WRITE(5,771)DVA(K1,I,J),EPA(K1,I,J),DVB(K2,I,J),EPB(K2,I,J)
771 FORMAT(//,20X,4E20,8)
556 CONTINUE
MA=0
J=1
GOTO 50
60 J=J+2
50 LK=J+1
MA=MA+1
WRITE(5,818)MA
818 FORMAT(//,30X,'VALOR DO INDICE MATRICIAL MA SEPARADO  'I2)
EPAT(I,MA)=EPA(K1,I,J)
EPBT(I,MA)=EPB(K2,I,J)
EPAC(I,MA)=EPA(K1,I,LK)
EPBC(I,MA)=EPB(K2,I,LK)
DVAT(I,MA)=DVA(K1,I,J)
DVBT(I,MA)=DVB(K2,I,J)
DVAC(I,MA)=DVA(K1,I,LK)
DVBC(I,MA)=DVB(K2,I,LK)
IF(MA=KSEP)60,70,70
70 MX=888
WRITE(5,304)MX
304 FDRMAT(///,35X,'CRIACAO DA MATRIZ DE T * C ',5X,I3,///)
DO 215 J=1,NJ
TAXYT(I,J)=(E/((1,+MI)*4,))*(EPAT(I,J)-EPBT(I,J))
TAXYC(I,J)=(E/((1,+MI)*4,))*(EPAC(I,J)-EPBC(I,J))
MT5T(I,J)=(3,141592*((D)**3,)*TAXYT(I,J))/16.
MT5C(I,J)=(3,141592*((D)**3,)*TAXYC(I,J))/16.
MT2(I,J)=(DI(1)/DI(2))*ETA(1)*ETA(2)*ETA(3)*MT1(I,J)
MT3LT(I,J)=MT5T(I,J)*(DI(5)/DI(6))*(1,/(ETA(7)*ETA(8)))
MT3LC(I,J)=MT5C(I,J)*(DI(5)/DI(6))*(1,/(ETA(7)*ETA(8)))
MT3(I,J)=MT2(I,J)*(DI(3)/DI(4))*ETA(5)*ETA(6)
MT3LLT(I,J)=MT3(I,J)=MT3LT(I,J)
```

```
MT3LLC(I,J)=MT3(I,J)-MT3LC(I,J)
215 CONTINUE
WRITE(5,300)
300 FORMAT(////////,20X,'ENSAIO COM PONTES LOCALIZADAS
*DA NO EIXO DE SAIDA DO MOTOR',////////)
WRITE(5,302)
302 FORMAT(//,20X,'FATOR',13X,'MEDIDA',13X,'DELTA V',12X,'DEFORMACAO',
*11X,'MOMENTO TORCOR ')
WRITE(5,303)(FATOR(K0,I,J),MEDE(K0,I,J),DEV(I,J),EPS1(I,J),MT1(I,J
*),J=1,NJ)
303 FORMAT(////,10X,5E20,7)
WRITE(5,979)
979 FORMAT(////////,20X,'ENSAIOS FINAIS NAS PONT
4TES A E B',////////)
WRITE(5,333)K1,K2
333 FDRMAT(//,20X,'ENSAIO EFETUADO NAS DIVERS
8AS PONTES DO EIXO',//,,'PONTE A CORRESPONDE AO VA
5LOR DE K1=',5X,I2,///,'PONTE B CORRESPONDE AO VALOR DE K2=',5X,I2,7
7////////)
WRITE(5,622)
622 FORMAT(//,20X,'CARTOES DE DADOS ',//)
DO 555 J=1,NK
WRITE(5,558)FATOR(K1,I,J),MEDE(K1,I,J),FATOR(K2,I,J),MEDE(K2,I,J)
558 FORMAT(10X,' A FATOR =',E14,7,5X,' A MEDIDA =',E14,7,5X,' B FATOR =
* ',E14,7,5X,' B MEDIDA =',E14,7,///)
555 CONTINUE
WRITE(5,636)
636 FORMAT(//,20X,'ENSAIO COM PONTES LOCALIZADAS NO EIXO PRINCIPAL',/
*//,25X,'EPSA',16X,'EPSB',16X,'TAXY',14X,'MTORCOR',///)
DO 291 J=1,NJ
WRITE(5,633)EPAT(I,J),EPBT(I,J),TAXYT(I,J),MT5T(I,J)
WRITE(5,633)EPAC(I,J),EPBC(I,J),TAXYC(I,J),MT5C(I,J)
633 FORMAT(//,20X,4E20,10)
291 CONTINUE
WRITE(5,673)
673 FORMAT(//,20X,'MOMENTOS TORCORES ATUANTES NOS EIXOS DA MAROMBA',/
*//,15X,'M1',15X,'M5',15X,'M2',15X,'M3',15X,'M3L',14X,'M3LL')
DO 297 J=1,NJ
WRITE(5,671)MT1(I,J),MT5T(I,J),MT2(I,J),MT3(I,J),MT3LT(I,J),MT3LLT
*(I,J)
WRITE(5,671)MT1(I,J),MT5C(I,J),MT2(I,J),MT3(I,J),MT3LC(I,J),MT3LLC
4(I,J)
671 FORMAT(//,10X,6E18,9)
297 CONTINUE
214 CONTINUE
DO 47 LM=1,20
WRITE(5,715)
715 FORMAT(//,20X,'F I M D A S T A B E L A S ')
47 CONTINUE
```

As TABELAS, a seguir, apresentam os resultados experimentais dos momentos torçores atuantes nos diversos eixos da máquina (figura 1.1) em todos os ensaios realizados.

| MOMENTOS TORÇORES ATUANTES NOS EIXOS DA MARCHA (ENSAIO 1) | | | | | |
|---|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| M _I | M _{IV} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
| 0,145924814E+04 | 0,706786777E+03 | 0,846248840E+04 | 0,316959329E+03 | 0,247804260E+03 | 0,891550644E+04 |
| 0,145924814E+04 | 0,707735801E+03 | 0,846248840E+04 | 0,316959329E+03 | 0,248165805E+03 | 0,891794243E+04 |
| 0,162952048E+04 | 0,765942012E+03 | 0,944993372E+04 | 0,353943726E+03 | 0,268574890E+03 | 0,853688355E+04 |
| 0,162952048E+04 | 0,766971045E+03 | 0,944993372E+04 | 0,353943726E+03 | 0,268935715E+03 | 0,850282163E+04 |
| 0,145924814E+04 | 0,736838928E+03 | 0,846248840E+04 | 0,316959329E+03 | 0,258369908E+03 | 0,585893408E+04 |
| 0,145924814E+04 | 0,737867939E+03 | 0,846248840E+04 | 0,316959329E+03 | 0,258730813E+03 | 0,582285156E+04 |
| 0,145924814E+04 | 0,736838928E+03 | 0,846248840E+04 | 0,316959329E+03 | 0,258369908E+03 | 0,585893408E+04 |
| 0,145924814E+04 | 0,737867939E+03 | 0,846248840E+04 | 0,316959329E+03 | 0,258730813E+03 | 0,582285156E+04 |
| 0,162952048E+04 | 0,706786777E+03 | 0,944993372E+04 | 0,353943726E+03 | 0,247804260E+03 | 0,106139455E+05 |
| 0,162952048E+04 | 0,707735801E+03 | 0,944993372E+04 | 0,353943726E+03 | 0,248165805E+03 | 0,105778642E+05 |
| 0,162952048E+04 | 0,706786777E+03 | 0,944993372E+04 | 0,353943726E+03 | 0,247804260E+03 | 0,106139455E+05 |
| 0,162952048E+04 | 0,707735801E+03 | 0,944993372E+04 | 0,353943726E+03 | 0,248165805E+03 | 0,105778642E+05 |
| 0,162952048E+04 | 0,706786777E+03 | 0,944993372E+04 | 0,353943726E+03 | 0,247804260E+03 | 0,106139455E+05 |
| 0,162952048E+04 | 0,707735801E+03 | 0,944993372E+04 | 0,353943726E+03 | 0,248165805E+03 | 0,105778642E+05 |
| 0,162952048E+04 | 0,765942012E+03 | 0,944993372E+04 | 0,353943726E+03 | 0,268574890E+03 | 0,853688355E+04 |
| 0,162952048E+04 | 0,766971045E+03 | 0,944993372E+04 | 0,353943726E+03 | 0,268935715E+03 | 0,850282163E+04 |
| 0,162952048E+04 | 0,765942012E+03 | 0,944993372E+04 | 0,353943726E+03 | 0,268574890E+03 | 0,853688355E+04 |
| 0,162952048E+04 | 0,766971045E+03 | 0,944993372E+04 | 0,353943726E+03 | 0,268935715E+03 | 0,850282163E+04 |

| MOMENTOS TORÇORES ATUANTES NOS EIXOS DA MARCHA (ENSAIO 2) | | | | | |
|---|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| M _I | M _{IV} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
| 0,179979282E+04 | 0,825177256E+03 | 0,104373790E+05 | 0,392928115E+03 | 0,289345520E+03 | 0,101582595E+05 |
| 0,179979282E+04 | 0,826286289E+03 | 0,104373790E+05 | 0,392928115E+03 | 0,289786348E+03 | 0,101221768E+05 |
| 0,179979282E+04 | 0,825177256E+03 | 0,104373790E+05 | 0,392928115E+03 | 0,289345520E+03 | 0,101582595E+05 |
| 0,179979282E+04 | 0,826286289E+03 | 0,104373790E+05 | 0,392928115E+03 | 0,289786348E+03 | 0,101221768E+05 |
| 0,179979282E+04 | 0,825177256E+03 | 0,104373790E+05 | 0,392928115E+03 | 0,289345520E+03 | 0,101582595E+05 |
| 0,179979282E+04 | 0,826286289E+03 | 0,104373790E+05 | 0,392928115E+03 | 0,289786348E+03 | 0,101221768E+05 |
| 0,197806517E+04 | 0,825177256E+03 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+03 | 0,289345520E+03 | 0,138566990E+05 |
| 0,197806517E+04 | 0,826286289E+03 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+03 | 0,289786348E+03 | 0,138206152E+05 |
| 0,179979282E+04 | 0,825177256E+03 | 0,104373790E+05 | 0,392928115E+03 | 0,289345520E+03 | 0,101582595E+05 |
| 0,179979282E+04 | 0,826286289E+03 | 0,104373790E+05 | 0,392928115E+03 | 0,289786348E+03 | 0,101221768E+05 |
| 0,197806517E+04 | 0,825177256E+03 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+03 | 0,289345520E+03 | 0,138566990E+05 |
| 0,197806517E+04 | 0,826286289E+03 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+03 | 0,289786348E+03 | 0,138206152E+05 |
| 0,197806517E+04 | 0,825177256E+03 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+03 | 0,289345520E+03 | 0,138566990E+05 |
| 0,197806517E+04 | 0,826286289E+03 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+03 | 0,289786348E+03 | 0,138206152E+05 |
| 0,197806517E+04 | 0,825177256E+03 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+03 | 0,289345520E+03 | 0,138566990E+05 |
| 0,197806517E+04 | 0,826286289E+03 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+03 | 0,289786348E+03 | 0,138206152E+05 |
| 0,197806517E+04 | 0,825177256E+03 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+03 | 0,289345520E+03 | 0,138566990E+05 |
| 0,197806517E+04 | 0,826286289E+03 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+03 | 0,289786348E+03 | 0,138206152E+05 |
| 0,197806517E+04 | 0,825177256E+03 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+03 | 0,289345520E+03 | 0,138566990E+05 |
| 0,197806517E+04 | 0,826286289E+03 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+03 | 0,289786348E+03 | 0,138206152E+05 |
| 0,197806517E+04 | 0,825177256E+03 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+03 | 0,289345520E+03 | 0,138566990E+05 |
| 0,197806517E+04 | 0,826286289E+03 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+03 | 0,289786348E+03 | 0,138206152E+05 |

MOMENTOS TORCORES ATUANTES NOS EIXOS DA MARCHA (ENSAIO 3)

| M _I | M _{Y4} | M _{III1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0,179979282E+04 | 2,824148223E+05 | 0,104373790E+05 | 0,330928115E+05 | 0,288984692E+05 | 0,101943423E+05 |
| 0,179979282E+04 | 2,825177256E+05 | 0,104373790E+05 | 0,330928115E+05 | 0,289345520E+05 | 0,101582595E+05 |
| 0,179979282E+04 | 2,795845117E+05 | 0,104373790E+05 | 0,330928115E+05 | 0,278779793E+05 | 0,112148323E+05 |
| 0,179979282E+04 | 2,796274150E+05 | 0,104373790E+05 | 0,330928115E+05 | 0,279148620E+05 | 0,111787495E+05 |
| 0,197086517E+04 | 2,795845117E+05 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+05 | 0,278779793E+05 | 0,149132717E+05 |
| 0,197086517E+04 | 2,796274150E+05 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+05 | 0,279148620E+05 | 0,149771890E+05 |
| 0,179979282E+04 | 2,795845117E+05 | 0,104373790E+05 | 0,330928115E+05 | 0,278779793E+05 | 0,112148323E+05 |
| 0,179979282E+04 | 2,796274150E+05 | 0,104373790E+05 | 0,330928115E+05 | 0,279148620E+05 | 0,111787495E+05 |
| 0,179979282E+04 | 2,795845117E+05 | 0,104373790E+05 | 0,330928115E+05 | 0,278779793E+05 | 0,112148323E+05 |
| 0,179979282E+04 | 2,796274150E+05 | 0,104373790E+05 | 0,330928115E+05 | 0,279148620E+05 | 0,111787495E+05 |
| 0,179979282E+04 | 2,824148223E+05 | 0,104373790E+05 | 0,330928115E+05 | 0,288984692E+05 | 0,101943423E+05 |
| 0,179979282E+04 | 2,825177256E+05 | 0,104373790E+05 | 0,330928115E+05 | 0,289345520E+05 | 0,101582595E+05 |
| 0,179979282E+04 | 2,824148223E+05 | 0,104373790E+05 | 0,330928115E+05 | 0,288984692E+05 | 0,101943423E+05 |
| 0,179979282E+04 | 2,825177256E+05 | 0,104373790E+05 | 0,330928115E+05 | 0,289345520E+05 | 0,101582595E+05 |
| 0,197086517E+04 | 2,795845117E+05 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+05 | 0,278779793E+05 | 0,149132717E+05 |
| 0,197086517E+04 | 2,796274150E+05 | 0,114248243E+05 | 0,427912510E+05 | 0,279148620E+05 | 0,149771890E+05 |
| 0,179979282E+04 | 2,795845117E+05 | 0,104373790E+05 | 0,330928115E+05 | 0,278779793E+05 | 0,112148323E+05 |
| 0,179979282E+04 | 2,796274150E+05 | 0,104373790E+05 | 0,330928115E+05 | 0,279148620E+05 | 0,111787495E+05 |
| 0,179979282E+04 | 2,795845117E+05 | 0,104373790E+05 | 0,330928115E+05 | 0,278779793E+05 | 0,112148323E+05 |
| 0,179979282E+04 | 2,796274150E+05 | 0,104373790E+05 | 0,330928115E+05 | 0,279148620E+05 | 0,111787495E+05 |

MOMENTOS TORCORES ATUANTES NOS EIXOS DA MARCHA (ENSAIO 4)

| M _I | M _{Y4} | M _{III1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0,210665097E+04 | 0,100232889E+06 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,351463120E+05 | 0,106116826E+05 |
| 0,210665097E+04 | 0,989373652E+05 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,346928415E+05 | 0,110659531E+05 |
| 0,210665097E+04 | 0,987798527E+05 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,346365298E+05 | 0,111214648E+05 |
| 0,210665097E+04 | 0,974805293E+05 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,341822588E+05 | 0,115757358E+05 |
| 0,197041210E+04 | 0,972724453E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,341822432E+05 | 0,869052849E+04 |
| 0,197041210E+04 | 0,959769219E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,336539722E+05 | 0,914477148E+04 |
| 0,231101227E+04 | 0,100232889E+06 | 0,134022487E+05 | 0,501968711E+05 | 0,351463120E+05 | 0,150505591E+05 |
| 0,231101227E+04 | 0,989373652E+05 | 0,134022487E+05 | 0,501968711E+05 | 0,346928415E+05 | 0,155048296E+05 |
| 0,217477139E+04 | 0,100232889E+06 | 0,120119590E+05 | 0,472376196E+05 | 0,351463120E+05 | 0,120913076E+05 |
| 0,217477139E+04 | 0,102443972E+06 | 0,120119590E+05 | 0,472376196E+05 | 0,352283276E+05 | 0,120172920E+05 |
| 0,210665097E+04 | 0,100232889E+06 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,351463120E+05 | 0,106116826E+05 |
| 0,210665097E+04 | 0,989373652E+05 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,346928415E+05 | 0,110659531E+05 |
| 0,210665097E+04 | 0,100232889E+06 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,351463120E+05 | 0,106116826E+05 |
| 0,210665097E+04 | 0,989373652E+05 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,346928415E+05 | 0,110659531E+05 |
| 0,21853352E+04 | 0,972724453E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,341822432E+05 | 0,101781200E+05 |
| 0,223853457E+04 | 0,959769219E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,336539722E+05 | 0,106243962E+05 |
| 0,197041210E+04 | 0,972724453E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,341822432E+05 | 0,869052849E+04 |
| 0,197041210E+04 | 0,959769219E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,336539722E+05 | 0,914477148E+04 |
| 0,197041210E+04 | 0,972724453E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,341822432E+05 | 0,869052849E+04 |
| 0,197041210E+04 | 0,959769219E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,336539722E+05 | 0,914477148E+04 |

| MOMENTOS TORCORES ATUANTES NOS EIXOS DA VAROMBA (ENSAIO 5) | | | | | |
|--|-----------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| M _I | M _{Y4} | M _{II1} | M _{II2} | M _{III4} | M _{III3} |
| 0,283853252E+04 | 2,943120039E+05 | 0,110218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,330781748E+05 | 0,112681944E+05 |
| 0,203853252E+04 | 2,945230859E+05 | 0,110218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,331441899E+05 | 0,111341782E+05 |
| 0,197241810E+04 | 0,943120039E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 2,330781748E+05 | 2,972056805E+04 |
| 0,197241810E+04 | 2,945230859E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,331441899E+05 | 2,965455371E+04 |
| 0,197241810E+04 | 2,943120039E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,330781748E+05 | 0,972056805E+04 |
| 0,197241810E+04 | 2,945230859E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,331441899E+05 | 0,965455371E+04 |
| 0,203853252E+04 | 2,958186104E+05 | 2,110218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,335984609E+05 | 2,106797072E+05 |
| 0,203853252E+04 | 2,960296914E+05 | 0,110218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,336724766E+05 | 2,106058916E+05 |
| 0,203853252E+04 | 0,972724453E+05 | 0,110218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,341082432E+05 | 0,101701202E+05 |
| 0,204853252E+04 | 0,974835293E+05 | 0,110218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,341822588E+05 | 2,108961094E+05 |
| 0,210665291E+04 | 0,972724453E+05 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,341802432E+05 | 0,116497515E+05 |
| 0,210665291E+04 | 2,974835293E+05 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,341822588E+05 | 2,115757358E+05 |
| 0,203853252E+04 | 0,972724453E+05 | 0,110218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,341082432E+05 | 0,101701202E+05 |
| 0,203853252E+04 | 0,974835293E+05 | 0,110218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,341822588E+05 | 2,108961094E+05 |
| 0,190228964E+04 | 0,943120039E+05 | 0,110317798E+05 | 0,413191177E+05 | 0,330781748E+05 | 0,024894287E+04 |
| 0,197228964E+04 | 2,945230859E+05 | 0,110317798E+05 | 0,413191177E+05 | 0,331441899E+05 | 0,017472773E+04 |
| 0,190228964E+04 | 0,913515596E+05 | 0,110317798E+05 | 0,413191177E+05 | 0,320321050E+05 | 2,928701270E+04 |
| 0,190228964E+04 | 0,915626426E+05 | 0,110317798E+05 | 0,413191177E+05 | 0,321061204E+05 | 0,921297731E+04 |
| 0,190228964E+04 | 0,913515596E+05 | 0,110317798E+05 | 0,413191177E+05 | 0,320321050E+05 | 0,928701270E+04 |
| 0,190228964E+04 | 0,915626426E+05 | 0,110317798E+05 | 0,413191177E+05 | 0,321061204E+05 | 2,921297731E+04 |

| MOMENTOS TORCORES ATUANTES NOS EIXOS DA VAROMBA (ENSAIO 6) | | | | | |
|--|-----------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| M _I | M _{Y4} | M _{II1} | M _{II2} | M _{III4} | M _{III3} |
| 0,231060986E+04 | 2,100185396E+06 | 0,133997150E+05 | 0,521881304E+05 | 0,351296587E+05 | 0,150584717E+05 |
| 0,231060986E+04 | 2,100391201E+06 | 0,133997150E+05 | 0,521881304E+05 | 0,352210237E+05 | 2,149863066E+05 |
| 0,231060986E+04 | 0,103198608E+06 | 0,133997150E+05 | 0,521881304E+05 | 0,361062314E+05 | 0,140018989E+05 |
| 0,231060986E+04 | 2,103404415E+06 | 0,133997150E+05 | 0,521881304E+05 | 0,362583978E+05 | 0,139297334E+05 |
| 0,231060986E+04 | 2,103198608E+06 | 0,133997150E+05 | 0,521881304E+05 | 0,361062314E+05 | 0,140018989E+05 |
| 0,231060986E+04 | 2,103404415E+06 | 0,133997150E+05 | 0,521881304E+05 | 0,362583978E+05 | 0,139297334E+05 |
| 0,231060986E+04 | 2,103198608E+06 | 0,133997150E+05 | 0,521881304E+05 | 0,361062314E+05 | 0,140018989E+05 |
| 0,231060986E+04 | 2,103404415E+06 | 0,133997150E+05 | 0,521881304E+05 | 0,362583978E+05 | 0,139297334E+05 |
| 0,231060986E+04 | 0,100185396E+06 | 0,133997150E+05 | 0,521881304E+05 | 0,351296587E+05 | 0,150584717E+05 |
| 0,231060986E+04 | 2,100391201E+06 | 0,133997150E+05 | 0,521881304E+05 | 0,352210237E+05 | 2,149863066E+05 |
| 0,214233752E+04 | 2,100185396E+06 | 2,124122698E+05 | 0,464896929E+05 | 0,351296587E+05 | 2,113603222E+05 |
| 0,214233752E+04 | 2,102391201E+06 | 2,124122698E+05 | 0,464896929E+05 | 0,352210237E+05 | 0,112876672E+05 |
| 0,231060986E+04 | 2,942618711E+05 | 0,133997150E+05 | 0,521881304E+05 | 0,330525957E+05 | 2,171355347E+05 |
| 0,231060986E+04 | 2,944676768E+05 | 0,133997150E+05 | 0,521881304E+05 | 0,331247607E+05 | 2,170633676E+05 |
| 0,214233752E+04 | 2,942618711E+05 | 2,124122698E+05 | 0,464896929E+05 | 0,330525957E+05 | 0,134370952E+05 |
| 0,214233752E+04 | 2,944676768E+05 | 2,124122698E+05 | 0,464896929E+05 | 0,331247607E+05 | 2,171355347E+05 |
| 0,197228964E+04 | 2,942618711E+05 | 0,114240243E+05 | 0,427912510E+05 | 0,330525957E+05 | 2,973865527E+04 |
| 0,197228964E+04 | 2,944676768E+05 | 0,114240243E+05 | 0,427912510E+05 | 0,331247607E+05 | 0,950047042E+04 |
| 0,197228964E+04 | 2,942618711E+05 | 0,114240243E+05 | 0,427912510E+05 | 0,330525957E+05 | 2,973865527E+04 |
| 0,197228964E+04 | 2,944676768E+05 | 0,114240243E+05 | 0,427912510E+05 | 0,331247607E+05 | 0,950047042E+04 |

| MOMENTOS TORCORES ATUANTES NOS EIXOS DA VARANDA (ENSAIO 7) | | | | | |
|--|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| M _I | M _{Y4} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
| 0,265115457E+04 | 0,109019229E+06 | 0,153746057E+05 | 0,575050093E+05 | 0,302272114E+05 | 0,193577979E+05 |
| 0,265115457E+04 | 0,109225036E+06 | 0,153746057E+05 | 0,575050093E+05 | 0,302993770E+05 | 0,192056323E+05 |
| 0,265115457E+04 | 0,109019229E+06 | 0,153746057E+05 | 0,575050093E+05 | 0,302272114E+05 | 0,193577979E+05 |
| 0,265115457E+04 | 0,109225036E+06 | 0,153746057E+05 | 0,575050093E+05 | 0,302993770E+05 | 0,192056323E+05 |
| 0,265115457E+04 | 0,109019229E+06 | 0,153746057E+05 | 0,575050093E+05 | 0,302272114E+05 | 0,193577979E+05 |
| 0,265115457E+04 | 0,109225036E+06 | 0,153746057E+05 | 0,575050093E+05 | 0,302993770E+05 | 0,192056323E+05 |
| 0,265115457E+04 | 0,109019229E+06 | 0,153746057E+05 | 0,575050093E+05 | 0,302272114E+05 | 0,193577979E+05 |
| 0,265115457E+04 | 0,109225036E+06 | 0,153746057E+05 | 0,575050093E+05 | 0,302993770E+05 | 0,192056323E+05 |
| 0,240008223E+04 | 0,109019229E+06 | 0,143071605E+05 | 0,530065703E+05 | 0,302272114E+05 | 0,156593509E+05 |
| 0,240008223E+04 | 0,109225036E+06 | 0,143071605E+05 | 0,530065703E+05 | 0,302993770E+05 | 0,155071934E+05 |
| 0,240008223E+04 | 0,106108919E+06 | 0,143071605E+05 | 0,530065703E+05 | 0,372067212E+05 | 0,166704911E+05 |
| 0,240008223E+04 | 0,106314725E+06 | 0,143071605E+05 | 0,530065703E+05 | 0,372067212E+05 | 0,166276826E+05 |
| 0,240008223E+04 | 0,106108919E+06 | 0,143071605E+05 | 0,530065703E+05 | 0,372067212E+05 | 0,166704911E+05 |
| 0,240008223E+04 | 0,106314725E+06 | 0,143071605E+05 | 0,530065703E+05 | 0,372067212E+05 | 0,166276826E+05 |
| 0,231060986E+04 | 0,106108919E+06 | 0,133997150E+05 | 0,501001304E+05 | 0,372067212E+05 | 0,129014022E+05 |
| 0,231060986E+04 | 0,106314725E+06 | 0,133997150E+05 | 0,501001304E+05 | 0,372067212E+05 | 0,129014022E+05 |
| 0,231060986E+04 | 0,100105396E+06 | 0,133997150E+05 | 0,501001304E+05 | 0,351296507E+05 | 0,150504717E+05 |
| 0,231060986E+04 | 0,100391201E+06 | 0,133997150E+05 | 0,501001304E+05 | 0,352010237E+05 | 0,149063056E+05 |
| 0,231060986E+04 | 0,100105396E+06 | 0,133997150E+05 | 0,501001304E+05 | 0,351296507E+05 | 0,150504717E+05 |
| 0,231060986E+04 | 0,100391201E+06 | 0,133997150E+05 | 0,501001304E+05 | 0,352010237E+05 | 0,149063056E+05 |

| MOMENTOS TORCORES ATUANTES NOS EIXOS DA VARANDA (ENSAIO 8) | | | | | |
|--|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| M _I | M _{Y4} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
| 0,240008223E+04 | 0,106108919E+06 | 0,143071605E+05 | 0,530065703E+05 | 0,372067212E+05 | 0,166704911E+05 |
| 0,240008223E+04 | 0,106314725E+06 | 0,143071605E+05 | 0,530065703E+05 | 0,372067212E+05 | 0,166276826E+05 |
| 0,240008223E+04 | 0,106108919E+06 | 0,143071605E+05 | 0,530065703E+05 | 0,372067212E+05 | 0,166704911E+05 |
| 0,240008223E+04 | 0,106314725E+06 | 0,143071605E+05 | 0,530065703E+05 | 0,372067212E+05 | 0,166276826E+05 |
| 0,240008223E+04 | 0,109019229E+06 | 0,143071605E+05 | 0,530065703E+05 | 0,302272114E+05 | 0,156593509E+05 |
| 0,240008223E+04 | 0,109225036E+06 | 0,143071605E+05 | 0,530065703E+05 | 0,302993770E+05 | 0,155071934E+05 |
| 0,240008223E+04 | 0,106108919E+06 | 0,143071605E+05 | 0,530065703E+05 | 0,372067212E+05 | 0,166704911E+05 |
| 0,240008223E+04 | 0,106314725E+06 | 0,143071605E+05 | 0,530065703E+05 | 0,372067212E+05 | 0,166276826E+05 |
| 0,231060986E+04 | 0,106108919E+06 | 0,133997150E+05 | 0,501001304E+05 | 0,372067212E+05 | 0,129014022E+05 |
| 0,231060986E+04 | 0,106314725E+06 | 0,133997150E+05 | 0,501001304E+05 | 0,372067212E+05 | 0,129014022E+05 |
| 0,231060986E+04 | 0,100105396E+06 | 0,133997150E+05 | 0,501001304E+05 | 0,351296507E+05 | 0,150504717E+05 |
| 0,231060986E+04 | 0,100391201E+06 | 0,133997150E+05 | 0,501001304E+05 | 0,352010237E+05 | 0,149063056E+05 |
| 0,231060986E+04 | 0,942010711E+05 | 0,133997150E+05 | 0,501001304E+05 | 0,330525957E+05 | 0,171355347E+05 |
| 0,231060986E+04 | 0,944676760E+05 | 0,133997150E+05 | 0,501001304E+05 | 0,331247607E+05 | 0,170633626E+05 |
| 0,214033752E+04 | 0,942010711E+05 | 0,124122690E+05 | 0,454006009E+05 | 0,330525957E+05 | 0,134070952E+05 |
| 0,214033752E+04 | 0,944676760E+05 | 0,124122690E+05 | 0,454006009E+05 | 0,331247607E+05 | 0,133549302E+05 |
| 0,214033752E+04 | 0,942010711E+05 | 0,124122690E+05 | 0,454006009E+05 | 0,330525957E+05 | 0,134070952E+05 |
| 0,214033752E+04 | 0,944676760E+05 | 0,124122690E+05 | 0,454006009E+05 | 0,331247607E+05 | 0,133549302E+05 |
| 0,197006517E+04 | 0,803303467E+05 | 0,114240243E+05 | 0,427012510E+05 | 0,309755325E+05 | 0,110157105E+05 |
| 0,197006517E+04 | 0,805441533E+05 | 0,114240243E+05 | 0,427012510E+05 | 0,310476902E+05 | 0,110435530E+05 |

MOMENTOS TORÇORES ATUANTES NOS EIXOS DA MARCHA (ENSAIO 9)

| M _I | M _{Y4} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0,162982791E+04 | 2,746912314E+05 | 0,945162059E+04 | 0,354226157E+05 | 0,247841267E+05 | 0,100164040E+05 |
| 0,162982791E+04 | 2,780395439E+05 | 0,945162059E+04 | 0,354226157E+05 | 0,248396384E+05 | 0,105609773E+05 |
| 0,169792835E+04 | 2,721878379E+05 | 0,984664539E+04 | 0,368822412E+05 | 0,253124131E+05 | 0,115678241E+05 |
| 0,169792835E+04 | 2,723461514E+05 | 0,984664539E+04 | 0,368822412E+05 | 0,253679253E+05 | 0,115123159E+05 |
| 0,169792835E+04 | 2,736416738E+05 | 0,984664539E+04 | 0,368822412E+05 | 0,258221956E+05 | 0,118584457E+05 |
| 0,169792835E+04 | 2,737999873E+05 | 0,984664539E+04 | 0,368822412E+05 | 0,258777075E+05 | 0,118225337E+05 |
| 0,176604878E+04 | 2,736416738E+05 | 0,102416922E+05 | 0,383598662E+05 | 0,250221956E+05 | 0,125376707E+05 |
| 0,176604878E+04 | 2,737999873E+05 | 0,102416922E+05 | 0,383598662E+05 | 0,258777075E+05 | 0,124821587E+05 |
| 0,169792835E+04 | 2,736416738E+05 | 0,984664539E+04 | 0,368822412E+05 | 0,258221956E+05 | 0,118584457E+05 |
| 0,169792835E+04 | 2,737999873E+05 | 0,984664539E+04 | 0,368822412E+05 | 0,258777075E+05 | 0,118225337E+05 |
| 0,169792835E+04 | 2,736416738E+05 | 0,984664539E+04 | 0,368822412E+05 | 0,258221956E+05 | 0,118584457E+05 |
| 0,169792835E+04 | 2,737999873E+05 | 0,984664539E+04 | 0,368822412E+05 | 0,258777075E+05 | 0,118225337E+05 |
| 0,183416921E+04 | 0,751482813E+05 | 0,106367350E+05 | 0,398394922E+05 | 0,263508222E+05 | 0,134893100E+05 |
| 0,183416921E+04 | 0,753265910E+05 | 0,106367350E+05 | 0,398394922E+05 | 0,264259939E+05 | 0,134334933E+05 |
| 0,176604878E+04 | 0,781287236E+05 | 0,102416922E+05 | 0,383598662E+05 | 0,273885508E+05 | 0,109713154E+05 |
| 0,176604878E+04 | 0,782678352E+05 | 0,102416922E+05 | 0,383598662E+05 | 0,274440252E+05 | 0,109158837E+05 |
| 0,176604878E+04 | 0,795625596E+05 | 0,102416922E+05 | 0,383598662E+05 | 0,278983335E+05 | 0,104615327E+05 |
| 0,176604878E+04 | 0,797228721E+05 | 0,102416922E+05 | 0,383598662E+05 | 0,279538452E+05 | 0,104062212E+05 |
| 0,183416921E+04 | 0,810691670E+05 | 0,106367350E+05 | 0,398394922E+05 | 0,284266261E+05 | 0,116128721E+05 |
| 0,183416921E+04 | 0,812274795E+05 | 0,106367350E+05 | 0,398394922E+05 | 0,284821316E+05 | 0,115736866E+05 |

MOMENTOS TORÇORES ATUANTES NOS EIXOS DA MARCHA (ENSAIO 10)

| M _I | M _{Y4} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0,210665397E+04 | 0,883911182E+05 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,309948366E+05 | 0,147639588E+05 |
| 0,210665397E+04 | 0,885494287E+05 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,310495476E+05 | 0,147084472E+05 |
| 0,203853252E+04 | 0,883911182E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,309948366E+05 | 0,132843315E+05 |
| 0,203853252E+04 | 0,885494287E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,310495476E+05 | 0,132288266E+05 |
| 0,203853252E+04 | 0,854386758E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,299559678E+05 | 0,143224884E+05 |
| 0,203853252E+04 | 0,855889873E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,300114793E+05 | 0,142688889E+05 |
| 0,210665397E+04 | 0,869372813E+05 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,304842637E+05 | 0,152737418E+05 |
| 0,210665397E+04 | 0,870955938E+05 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,305397656E+05 | 0,152182272E+05 |
| 0,203853252E+04 | 0,883911182E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,309948366E+05 | 0,132843315E+05 |
| 0,203853252E+04 | 0,885494287E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,310495476E+05 | 0,132288266E+05 |
| 0,203853252E+04 | 0,863911182E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,309948366E+05 | 0,132843315E+05 |
| 0,203853252E+04 | 0,865494287E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,310495476E+05 | 0,132288266E+05 |
| 0,210665397E+04 | 0,854386758E+05 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,299559678E+05 | 0,158220259E+05 |
| 0,210665397E+04 | 0,855889873E+05 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,300114793E+05 | 0,157485154E+05 |
| 0,197741810E+04 | 0,883911182E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,309948366E+05 | 0,118847070E+05 |
| 0,197741810E+04 | 0,885494287E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,310495476E+05 | 0,117491950E+05 |
| 0,197741810E+04 | 0,854386758E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,299559678E+05 | 0,128427390E+05 |
| 0,197741810E+04 | 0,855889873E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,300114793E+05 | 0,127782644E+05 |
| 0,203853252E+04 | 0,839768389E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,294461851E+05 | 0,148321831E+05 |
| 0,203853252E+04 | 0,841351514E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,295318088E+05 | 0,147766714E+05 |

| MOMENTOS TORÇORES ATUANTES NOS EIXOS DA MARCHA (ENSAIO 11) | | | | | |
|--|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| M _I | M _{IV4} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
| 0,316197159E+04 | 0,141444258E+06 | 0,183369417E+05 | 0,686803272E+05 | 0,495969348E+05 | 0,198833926E+05 |
| 0,316197159E+04 | 0,141752967E+06 | 0,183369417E+05 | 0,686803272E+05 | 0,497051826E+05 | 0,199751445E+05 |
| 0,316197159E+04 | 0,138533945E+06 | 0,183369417E+05 | 0,686803272E+05 | 0,485764439E+05 | 0,221031833E+05 |
| 0,316197159E+04 | 0,138842656E+06 | 0,183369417E+05 | 0,686803272E+05 | 0,486846924E+05 | 0,199956348E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,132610424E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,464993814E+05 | 0,258793862E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,132919131E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,466076284E+05 | 0,257711392E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,132610424E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,464993814E+05 | 0,258793862E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,132919131E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,466076284E+05 | 0,257711392E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,132610424E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,464993814E+05 | 0,258793862E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,132919131E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,466076284E+05 | 0,257711392E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,132610424E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,464993814E+05 | 0,258793862E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,132919131E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,466076284E+05 | 0,257711392E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,132610424E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,464993814E+05 | 0,258793862E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,132919131E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,466076284E+05 | 0,257711392E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,126686920E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,444223189E+05 | 0,279564487E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,126995628E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,445305664E+05 | 0,278482012E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,126686920E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,444223189E+05 | 0,279564487E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,126995628E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,445305664E+05 | 0,278482012E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,126686920E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,444223189E+05 | 0,279564487E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,126995628E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,445305664E+05 | 0,278482012E+05 |

| MOMENTOS TORÇORES ATUANTES NOS EIXOS DA MARCHA (ENSAIO 12) | | | | | |
|--|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| M _I | M _{IV4} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
| 0,367278864E+04 | 0,132610424E+06 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,464993814E+05 | 0,332762642E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,132919131E+06 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,466076284E+05 | 0,331580171E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,132610424E+06 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,464993814E+05 | 0,332762642E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,132919131E+06 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,466076284E+05 | 0,331580171E+05 |
| 0,384306101E+04 | 0,129597210E+06 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,454428086E+05 | 0,380312783E+05 |
| 0,384306101E+04 | 0,129905918E+06 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,455510562E+05 | 0,379230308E+05 |
| 0,384306101E+04 | 0,129597210E+06 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,454428086E+05 | 0,380312783E+05 |
| 0,384306101E+04 | 0,129905918E+06 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,455510562E+05 | 0,379230308E+05 |
| 0,384306101E+04 | 0,129597210E+06 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,454428086E+05 | 0,380312783E+05 |
| 0,384306101E+04 | 0,129905918E+06 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,455510562E+05 | 0,379230308E+05 |
| 0,401333334E+04 | 0,135520732E+06 | 0,232741685E+05 | 0,871725254E+05 | 0,475198711E+05 | 0,396526543E+05 |
| 0,401333334E+04 | 0,135829441E+06 | 0,232741685E+05 | 0,871725254E+05 | 0,476281167E+05 | 0,39544057E+05 |
| 0,401333334E+04 | 0,135520732E+06 | 0,232741685E+05 | 0,871725254E+05 | 0,475198711E+05 | 0,396526543E+05 |
| 0,401333334E+04 | 0,135829441E+06 | 0,232741685E+05 | 0,871725254E+05 | 0,476281167E+05 | 0,39544057E+05 |
| 0,401333334E+04 | 0,135520732E+06 | 0,232741685E+05 | 0,871725254E+05 | 0,475198711E+05 | 0,396526543E+05 |
| 0,401333334E+04 | 0,135829441E+06 | 0,232741685E+05 | 0,871725254E+05 | 0,476281167E+05 | 0,39544057E+05 |
| 0,384306101E+04 | 0,135520732E+06 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,475198711E+05 | 0,396526543E+05 |
| 0,384306101E+04 | 0,135829441E+06 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,476281167E+05 | 0,39544057E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,135520732E+06 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,475198711E+05 | 0,322557744E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,135829441E+06 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,476281167E+05 | 0,321475259E+05 |

| MOMENTOS TORCORES ATUANTES NOS EIXOS DA MAROMBA (ENSAIO 13) | | | | | |
|---|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| M _I | M _{Y4} | M _{II1} | M _{II2} | M _{II4} | M _{II3} |
| 0,190228964E+04 | 0,883911182E+05 | 0,110317798E+05 | 0,413191177E+05 | 0,309940366E+05 | 0,104250811E+05 |
| 0,190228964E+04 | 0,885494287E+05 | 0,110317798E+05 | 0,413191177E+05 | 0,310495476E+05 | 0,102695731E+05 |
| 0,103416021E+04 | 0,869372813E+05 | 0,106367350E+05 | 0,398394922E+05 | 0,304842537E+05 | 0,935523853E+04 |
| 0,103416921E+04 | 0,870955938E+05 | 0,106367350E+05 | 0,398394922E+05 | 0,305397656E+05 | 0,929972656E+04 |
| 0,190228964E+04 | 0,898977246E+05 | 0,110317798E+05 | 0,413191177E+05 | 0,315223230E+05 | 0,979679458E+04 |
| 0,190228964E+04 | 0,900560301E+05 | 0,110317798E+05 | 0,413191177E+05 | 0,315770342E+05 | 0,914128345E+04 |
| 0,197041010E+04 | 0,898977246E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,315223230E+05 | 0,112764270E+05 |
| 0,197041010E+04 | 0,900560301E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,315770342E+05 | 0,112209870E+05 |
| 0,197041010E+04 | 0,914043320E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,320506294E+05 | 0,107401343E+05 |
| 0,197041010E+04 | 0,915626420E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,321061204E+05 | 0,106926235E+05 |
| 0,197041010E+04 | 0,928581670E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,325639180E+05 | 0,102383518E+05 |
| 0,197041010E+04 | 0,930164795E+05 | 0,114268247E+05 | 0,427987437E+05 | 0,326159333E+05 | 0,101804033E+05 |
| 0,203853052E+04 | 0,928581670E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,325639180E+05 | 0,117179753E+05 |
| 0,203853052E+04 | 0,930164795E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,326159333E+05 | 0,116624640E+05 |
| 0,203853052E+04 | 0,950186104E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,335984649E+05 | 0,106799072E+05 |
| 0,203853052E+04 | 0,959769219E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,336539722E+05 | 0,106243960E+05 |
| 0,203853052E+04 | 0,987790527E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,346365298E+05 | 0,964183838E+04 |
| 0,203853052E+04 | 0,989373652E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,346920415E+05 | 0,958632666E+04 |
| 0,203853052E+04 | 0,987790527E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,346365298E+05 | 0,964183838E+04 |
| 0,203853052E+04 | 0,989373652E+05 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,346920415E+05 | 0,958632666E+04 |

| MOMENTOS TORCORES ATUANTES NOS EIXOS DA MAROMBA (ENSAIO 14) | | | | | |
|---|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| M _I | M _{Y4} | M _{II1} | M _{II2} | M _{II4} | M _{II3} |
| 0,367278864E+04 | 0,138533945E+06 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,485764439E+05 | 0,311992017E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,138842656E+06 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,486846924E+05 | 0,310909531E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,141444258E+06 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,495969346E+05 | 0,301710109E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,141752967E+06 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,497051826E+05 | 0,302024629E+05 |
| 0,384306101E+04 | 0,141444258E+06 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,495969346E+05 | 0,338771523E+05 |
| 0,384306101E+04 | 0,141752967E+06 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,497051826E+05 | 0,337589843E+05 |
| 0,384306101E+04 | 0,141444258E+06 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,495969346E+05 | 0,338771523E+05 |
| 0,384306101E+04 | 0,141752967E+06 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,497051826E+05 | 0,337589843E+05 |
| 0,384306101E+04 | 0,147676490E+06 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,517822451E+05 | 0,316918418E+05 |
| 0,401333334E+04 | 0,147367781E+06 | 0,232741685E+05 | 0,871725254E+05 | 0,516739976E+05 | 0,354905278E+05 |
| 0,401333334E+04 | 0,147676490E+06 | 0,232741685E+05 | 0,871725254E+05 | 0,517822451E+05 | 0,353922803E+05 |
| 0,401333334E+04 | 0,147367781E+06 | 0,232741685E+05 | 0,871725254E+05 | 0,516739976E+05 | 0,354905278E+05 |
| 0,401333334E+04 | 0,147676490E+06 | 0,232741685E+05 | 0,871725254E+05 | 0,517822451E+05 | 0,353922803E+05 |
| 0,401333334E+04 | 0,147367781E+06 | 0,232741685E+05 | 0,871725254E+05 | 0,516739976E+05 | 0,354905278E+05 |
| 0,401333334E+04 | 0,147676490E+06 | 0,232741685E+05 | 0,871725254E+05 | 0,517822451E+05 | 0,353922803E+05 |
| 0,401333334E+04 | 0,147367781E+06 | 0,232741685E+05 | 0,871725254E+05 | 0,516739976E+05 | 0,354905278E+05 |
| 0,401333334E+04 | 0,147676490E+06 | 0,232741685E+05 | 0,871725254E+05 | 0,517822451E+05 | 0,353922803E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,147367781E+06 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,516739976E+05 | 0,281215400E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,147676490E+06 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,517822451E+05 | 0,279931044E+05 |

MOMENTOS TORÇORES ATUANTES NOS EIXOS DA MARCHA (ENSAIO 15)

| M _I | M _{IV} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0,203853052E+04 | 0,100185396E+06 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,351296587E+05 | 0,914870947E+04 |
| 0,203853052E+04 | 0,100288298E+06 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,351657412E+05 | 0,911262635E+04 |
| 0,203853052E+04 | 0,100185396E+06 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,351296587E+05 | 0,914870947E+04 |
| 0,203853052E+04 | 0,100288298E+06 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,351657412E+05 | 0,911252675E+04 |
| 0,203853052E+04 | 0,100185396E+06 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,351296587E+05 | 0,914870947E+04 |
| 0,203853052E+04 | 0,100288298E+06 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,351657412E+05 | 0,911252675E+04 |
| 0,203853052E+04 | 0,100185396E+06 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,351296587E+05 | 0,914870947E+04 |
| 0,203853052E+04 | 0,100288298E+06 | 0,118218694E+05 | 0,442783682E+05 | 0,351657412E+05 | 0,911262635E+04 |
| 0,231101227E+04 | 0,100185396E+06 | 0,134220487E+05 | 0,531968711E+05 | 0,351296587E+05 | 2,152672124E+05 |
| 0,231101227E+04 | 0,100288298E+06 | 0,134220487E+05 | 0,531968711E+05 | 0,351657412E+05 | 2,152311239E+05 |
| 0,231101227E+04 | 0,100185396E+06 | 0,134220487E+05 | 0,531968711E+05 | 0,372067212E+05 | 2,129901439E+05 |
| 0,231101227E+04 | 0,106211822E+06 | 0,134220487E+05 | 0,531968711E+05 | 0,372428042E+05 | 2,129542659E+05 |
| 0,231101227E+04 | 0,112032443E+06 | 0,134220487E+05 | 0,531968711E+05 | 0,392837847E+05 | 2,109130864E+05 |
| 0,231101227E+04 | 0,112135345E+06 | 0,134220487E+05 | 0,531968711E+05 | 0,393198667E+05 | 2,104772044E+05 |
| 0,231101227E+04 | 0,109122133E+06 | 0,134220487E+05 | 0,531968711E+05 | 0,382632949E+05 | 2,119335762E+05 |
| 0,231101227E+04 | 0,109225036E+06 | 0,134220487E+05 | 0,531968711E+05 | 0,382993770E+05 | 2,118974941E+05 |
| 0,231101227E+04 | 0,112032443E+06 | 0,134220487E+05 | 0,531968711E+05 | 0,392837847E+05 | 2,109130864E+05 |
| 0,231101227E+04 | 0,112135345E+06 | 0,134220487E+05 | 0,531968711E+05 | 0,393198667E+05 | 2,107770044E+05 |
| 0,224289182E+04 | 0,109122133E+06 | 0,130070038E+05 | 0,487172451E+05 | 0,352632949E+05 | 2,104539502E+05 |
| 0,224289182E+04 | 0,109225036E+06 | 0,130070038E+05 | 0,487172451E+05 | 0,382993770E+05 | 2,104178602E+05 |

MOMENTOS TORÇORES ATUANTES NOS EIXOS DA MARCHA (ENSAIO 16)

| M _I | M _{IV} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0,224289182E+04 | 0,109122133E+06 | 0,130070038E+05 | 0,487172451E+05 | 0,382632949E+05 | 2,104539502E+05 |
| 0,224289182E+04 | 0,109225036E+06 | 0,130070038E+05 | 0,487172451E+05 | 0,382993770E+05 | 2,104178602E+05 |
| 0,217477139E+04 | 0,106108919E+06 | 0,126119590E+05 | 0,472376196E+05 | 0,372067212E+05 | 2,100308944E+05 |
| 0,217477139E+04 | 0,106211822E+06 | 0,126119590E+05 | 0,472376196E+05 | 0,372428042E+05 | 2,999481543E+04 |
| 0,217477139E+04 | 0,106108919E+06 | 0,126119590E+05 | 0,472376196E+05 | 0,372067212E+05 | 2,100308944E+05 |
| 0,217477139E+04 | 0,106211822E+06 | 0,126119590E+05 | 0,472376196E+05 | 0,372428042E+05 | 2,999481543E+04 |
| 0,217477139E+04 | 0,106108919E+06 | 0,126119590E+05 | 0,472376196E+05 | 0,372067212E+05 | 2,100308944E+05 |
| 0,217477139E+04 | 0,106211822E+06 | 0,126119590E+05 | 0,472376196E+05 | 0,372428042E+05 | 2,999481543E+04 |
| 0,217477139E+04 | 0,106108919E+06 | 0,126119590E+05 | 0,472376196E+05 | 0,372067212E+05 | 2,100308944E+05 |
| 0,217477139E+04 | 0,106211822E+06 | 0,126119590E+05 | 0,472376196E+05 | 0,372428042E+05 | 2,999481543E+04 |
| 0,210665097E+04 | 0,106108919E+06 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,372067212E+05 | 2,855127344E+04 |
| 0,210665097E+04 | 0,106211822E+06 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,372428042E+05 | 2,851519043E+04 |
| 0,210665097E+04 | 0,106108919E+06 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,372067212E+05 | 2,855127344E+04 |
| 0,210665097E+04 | 0,106211822E+06 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,372428042E+05 | 2,851519043E+04 |
| 0,210665097E+04 | 0,106108919E+06 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,372067212E+05 | 2,855127344E+04 |
| 0,210665097E+04 | 0,106211822E+06 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,372428042E+05 | 2,851519043E+04 |
| 0,210665097E+04 | 0,106108919E+06 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,372067212E+05 | 2,855127344E+04 |
| 0,210665097E+04 | 0,106211822E+06 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,372428042E+05 | 2,851519043E+04 |
| 0,210665097E+04 | 0,106108919E+06 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,372067212E+05 | 2,855127344E+04 |
| 0,210665097E+04 | 0,106211822E+06 | 0,122169143E+05 | 0,457579946E+05 | 0,372428042E+05 | 2,851519043E+04 |

MOMENTOS TORÇORES ATUAJLES NOS EIXOS DA VAMOMBA (ENSAIO 19)

| M _I | M _{IV} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0,237913269E+04 | 0,106206015E+06 | 0,137970934E+05 | 0,516764961E+05 | 0,371706302E+05 | 0,145058519E+05 |
| 0,237913269E+04 | 0,106211822E+06 | 0,137970934E+05 | 0,516764961E+05 | 0,372428042E+05 | 0,144336919E+05 |
| 0,237913269E+04 | 0,106206015E+06 | 0,137970934E+05 | 0,516764961E+05 | 0,371706302E+05 | 0,145058519E+05 |
| 0,237913269E+04 | 0,106211822E+06 | 0,137970934E+05 | 0,516764961E+05 | 0,372428042E+05 | 0,144336919E+05 |
| 0,237913269E+04 | 0,106206015E+06 | 0,137970934E+05 | 0,516764961E+05 | 0,371706302E+05 | 0,145058519E+05 |
| 0,237913269E+04 | 0,106211822E+06 | 0,137970934E+05 | 0,516764961E+05 | 0,372428042E+05 | 0,144336919E+05 |
| 0,237913269E+04 | 0,106206015E+06 | 0,137970934E+05 | 0,516764961E+05 | 0,371706302E+05 | 0,145058519E+05 |
| 0,237913269E+04 | 0,106211822E+06 | 0,137970934E+05 | 0,516764961E+05 | 0,372428042E+05 | 0,144336919E+05 |
| 0,244725311E+04 | 0,106206015E+06 | 0,141921381E+05 | 0,531561211E+05 | 0,371706302E+05 | 0,159854829E+05 |
| 0,244725311E+04 | 0,106211822E+06 | 0,141921381E+05 | 0,531561211E+05 | 0,372428042E+05 | 0,159133159E+05 |
| 0,251537362E+04 | 0,106206015E+06 | 0,145871832E+05 | 0,546357476E+05 | 0,371706302E+05 | 0,174651074E+05 |
| 0,251537362E+04 | 0,106211822E+06 | 0,145871832E+05 | 0,546357476E+05 | 0,372428042E+05 | 0,173929434E+05 |
| 0,258349402E+04 | 0,111929539E+06 | 0,149822279E+05 | 0,561153731E+05 | 0,392477017E+05 | 0,168676714E+05 |
| 0,258349402E+04 | 0,112135345E+06 | 0,149822279E+05 | 0,561153731E+05 | 0,393198667E+05 | 0,167855054E+05 |
| 0,271973489E+04 | 0,111929539E+06 | 0,157723175E+05 | 0,592746240E+05 | 0,392477017E+05 | 0,198269224E+05 |
| 0,271973489E+04 | 0,112135345E+06 | 0,157723175E+05 | 0,592746240E+05 | 0,393198667E+05 | 0,197547573E+05 |
| 0,265161444E+04 | 0,117053064E+06 | 0,153772727E+05 | 0,575949985E+05 | 0,413247647E+05 | 0,162702339E+05 |
| 0,265161444E+04 | 0,118058870E+06 | 0,153772727E+05 | 0,575949985E+05 | 0,413959302E+05 | 0,161980634E+05 |
| 0,265161444E+04 | 0,117853064E+06 | 0,153772727E+05 | 0,575949985E+05 | 0,413247647E+05 | 0,162702339E+05 |
| 0,265161444E+04 | 0,118058870E+06 | 0,153772727E+05 | 0,575949985E+05 | 0,413959302E+05 | 0,161980634E+05 |

MOMENTOS TORÇORES ATUAJLES NOS EIXOS DA VAMOMBA (ENSAIO 20)

| M _I | M _{IV} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0,299169928E+04 | 0,117853064E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413247647E+05 | 0,236571245E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,118058870E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413969302E+05 | 0,235849570E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,117853064E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413247647E+05 | 0,236571245E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,118058870E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413969302E+05 | 0,235849570E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,117853064E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413247647E+05 | 0,236571245E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,118058870E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413969302E+05 | 0,235849570E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,117853064E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413247647E+05 | 0,236571245E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,118058870E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413969302E+05 | 0,235849570E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,117853064E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413247647E+05 | 0,236571245E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,118058870E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413969302E+05 | 0,235849570E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,117853064E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413247647E+05 | 0,236571245E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,118058870E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413969302E+05 | 0,235849570E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,117853064E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413247647E+05 | 0,236571245E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,118058870E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413969302E+05 | 0,235849570E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,117853064E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413247647E+05 | 0,236571245E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,118058870E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413969302E+05 | 0,235849570E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,117853064E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413247647E+05 | 0,236571245E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,118058870E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413969302E+05 | 0,235849570E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,117853064E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413247647E+05 | 0,236571245E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,118058870E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,413969302E+05 | 0,235849570E+05 |

| MOMENTOS TORCORES ATUANTES NOS EIXOS DA MARCHA (ENSAIO 23) | | | | | |
|--|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| M _I | M _{IV} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
| 0,333224396E+04 | 0,138533945E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,485764439E+05 | 0,238223237E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,138739754E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,486486099E+05 | 0,237301577E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,138533945E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,485764439E+05 | 0,238223237E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,138739754E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,486486099E+05 | 0,237301577E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,138533945E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,485764439E+05 | 0,238223237E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,138739754E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,486486099E+05 | 0,237301577E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,138533945E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,485764439E+05 | 0,238223237E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,138739754E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,486486099E+05 | 0,237301577E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,138533945E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,485764439E+05 | 0,238223237E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,138739754E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,486486099E+05 | 0,237301577E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,138533945E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,485764439E+05 | 0,238223237E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,138739754E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,486486099E+05 | 0,237301577E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,138533945E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,485764439E+05 | 0,238223237E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,138739754E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,486486099E+05 | 0,237301577E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,144457471E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,506535068E+05 | 0,217252607E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,144663277E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,507256724E+05 | 0,216530932E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,144457471E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,506535068E+05 | 0,217252607E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,144663277E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,507256724E+05 | 0,216530932E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,144457471E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,506535068E+05 | 0,217252607E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,144663277E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,507256724E+05 | 0,216530932E+05 |

| MOMENTOS TORCORES ATUANTES NOS EIXOS DA MARCHA (ENSAIO 24) | | | | | |
|--|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| M _I | M _{IV} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
| 0,333224396E+04 | 0,141444258E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,495969346E+05 | 0,227810330E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,141650063E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,496690991E+05 | 0,227096605E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,141444258E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,495969346E+05 | 0,227810330E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,141650063E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,496690991E+05 | 0,227096605E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,141444258E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,495969346E+05 | 0,227810330E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,141650063E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,496690991E+05 | 0,227096605E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,138533945E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,485764439E+05 | 0,238223237E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,138739754E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,486486099E+05 | 0,237301577E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,135520732E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,475198711E+05 | 0,240088955E+05 |
| 0,333224396E+04 | 0,135726539E+06 | 0,193243872E+05 | 0,723787676E+05 | 0,475920366E+05 | 0,247067310E+05 |
| 0,316197159E+04 | 0,135520732E+06 | 0,183369417E+05 | 0,686803272E+05 | 0,475198711E+05 | 0,211604501E+05 |
| 0,316197159E+04 | 0,135726539E+06 | 0,183369417E+05 | 0,686803272E+05 | 0,475920366E+05 | 0,210802905E+05 |
| 0,316197159E+04 | 0,132610424E+06 | 0,183369417E+05 | 0,686803272E+05 | 0,464993014E+05 | 0,221809430E+05 |
| 0,316197159E+04 | 0,132816229E+06 | 0,183369417E+05 | 0,686803272E+05 | 0,465715064E+05 | 0,221087000E+05 |
| 0,316197159E+04 | 0,129700113E+06 | 0,183369417E+05 | 0,686803272E+05 | 0,454788011E+05 | 0,232014330E+05 |
| 0,316197159E+04 | 0,129905010E+06 | 0,183369417E+05 | 0,686803272E+05 | 0,455510562E+05 | 0,231292710E+05 |
| 0,316197159E+04 | 0,126606940E+06 | 0,183369417E+05 | 0,686803272E+05 | 0,444223109E+05 | 0,242500000E+05 |
| 0,316197159E+04 | 0,126892705E+06 | 0,183369417E+05 | 0,686803272E+05 | 0,444440340E+05 | 0,241059430E+05 |
| 0,316197159E+04 | 0,126606940E+06 | 0,183369417E+05 | 0,686803272E+05 | 0,444223109E+05 | 0,242500000E+05 |
| 0,316197159E+04 | 0,126892705E+06 | 0,183369417E+05 | 0,686803272E+05 | 0,444440340E+05 | 0,241059430E+05 |

| MOMENTOS TORCORES ATUAANTES NOS EIXOS DA MANOMBA (ENSAIO 25) | | | | | |
|--|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| M _I | M _{V4} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
| 0,299169928E+04 | 0,114839850E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,402681919E+05 | 0,247136973E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,115045657E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,403403574E+05 | 0,246415317E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,114839850E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,402681919E+05 | 0,247136973E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,115045657E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,403403574E+05 | 0,246415317E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,114839850E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,402681919E+05 | 0,247136973E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,115045657E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,403403574E+05 | 0,246415317E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,114839850E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,402681919E+05 | 0,247136973E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,115045657E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,403403574E+05 | 0,246415317E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,114839850E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,402681919E+05 | 0,247136973E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,115045657E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,403403574E+05 | 0,246415317E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,114839850E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,402681919E+05 | 0,247136973E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,115045657E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,403403574E+05 | 0,246415317E+05 |
| 0,282142691E+04 | 0,111929539E+06 | 0,163622510E+05 | 0,612834487E+05 | 0,392477017E+05 | 0,220357471E+05 |
| 0,282142691E+04 | 0,112135345E+06 | 0,163622510E+05 | 0,612834487E+05 | 0,393198667E+05 | 0,219635820E+05 |
| 0,282142691E+04 | 0,111929539E+06 | 0,163622510E+05 | 0,612834487E+05 | 0,392477017E+05 | 0,220357471E+05 |
| 0,282142691E+04 | 0,112135345E+06 | 0,163622510E+05 | 0,612834487E+05 | 0,393198667E+05 | 0,219635820E+05 |
| 0,282142691E+04 | 0,111929539E+06 | 0,163622510E+05 | 0,612834487E+05 | 0,392477017E+05 | 0,220357471E+05 |
| 0,282142691E+04 | 0,112135345E+06 | 0,163622510E+05 | 0,612834487E+05 | 0,393198667E+05 | 0,219635820E+05 |
| 0,282142691E+04 | 0,111929539E+06 | 0,163622510E+05 | 0,612834487E+05 | 0,392477017E+05 | 0,220357471E+05 |
| 0,282142691E+04 | 0,112135345E+06 | 0,163622510E+05 | 0,612834487E+05 | 0,393198667E+05 | 0,219635820E+05 |

| MOMENTOS TORCORES ATUAANTES NOS EIXOS DA MANOMBA (ENSAIO 26) | | | | | |
|--|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| M _I | M _{V4} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
| 0,299169928E+04 | 0,126686900E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,444223189E+05 | 0,285595703E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,126892785E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,444944834E+05 | 0,284874058E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,126686900E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,444223189E+05 | 0,285595703E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,126892785E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,444944834E+05 | 0,284874058E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,126686900E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,444223189E+05 | 0,285595703E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,126892785E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,444944834E+05 | 0,284874058E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,123776588E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,434218281E+05 | 0,215820618E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,123982395E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,434739937E+05 | 0,215878955E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120763375E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,423452554E+05 | 0,220366338E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120969182E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,424174204E+05 | 0,225644688E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120763375E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,423452554E+05 | 0,220366338E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120969182E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,424174204E+05 | 0,225644688E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120763375E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,423452554E+05 | 0,220366338E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120969182E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,424174204E+05 | 0,225644688E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120763375E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,423452554E+05 | 0,220366338E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120969182E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,424174204E+05 | 0,225644688E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120763375E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,423452554E+05 | 0,220366338E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120969182E+06 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,424174204E+05 | 0,225644688E+05 |

| MOMENTOS TORÇORES ATUANTES NOS EIXOS DA MANOMBA (ENSAIO 27) | | | | | |
|---|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| M _I | M _{Y4} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
| 0,299169928E+04 | 0,120763375E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,423452554E+05 | 0,226366338E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120969182E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,424174204E+05 | 0,225644688E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120763375E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,423452554E+05 | 0,226366338E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120969182E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,424174204E+05 | 0,225644688E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120763375E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,423452554E+05 | 0,226366338E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120969182E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,424174204E+05 | 0,225644688E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120763375E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,423452554E+05 | 0,226366338E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120969182E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,424174204E+05 | 0,225644688E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120763375E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,423452554E+05 | 0,226366338E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,120969182E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,424174204E+05 | 0,225644688E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,123776588E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,434018281E+05 | 0,215828612E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,123982395E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,434739937E+05 | 0,215078955E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,123776588E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,434018281E+05 | 0,215828612E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,123982395E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,434739937E+05 | 0,215078955E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,123776588E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,434018281E+05 | 0,215828612E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,123982395E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,434739937E+05 | 0,215078955E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,123776588E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,434018281E+05 | 0,215828612E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,123982395E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,434739937E+05 | 0,215078955E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,123776588E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,434018281E+05 | 0,215828612E+05 |
| 0,299169928E+04 | 0,123982395E+05 | 0,173494966E+05 | 0,649818892E+05 | 0,434739937E+05 | 0,215078955E+05 |

| MOMENTOS TORÇORES ATUANTES NOS EIXOS DA MANOMBA (ENSAIO 26) | | | | | |
|---|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| M _I | M _{Y4} | M _{II1} | M _{III2} | M _{III4} | M _{III3} |
| 0,367278864E+04 | 0,141444258E+05 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,495969346E+05 | 0,301787109E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,141752967E+05 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,497051826E+05 | 0,302724629E+05 |
| 0,364326101E+04 | 0,141444258E+05 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,495969346E+05 | 0,338771523E+05 |
| 0,364326101E+04 | 0,141752967E+05 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,497051826E+05 | 0,337589243E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,141444258E+05 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,495969346E+05 | 0,301787109E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,141752967E+05 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,497051826E+05 | 0,302724629E+05 |
| 0,364326101E+04 | 0,141444258E+05 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,495969346E+05 | 0,338771523E+05 |
| 0,364326101E+04 | 0,141752967E+05 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,497051826E+05 | 0,337589243E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,141444258E+05 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,495969346E+05 | 0,301787109E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,141752967E+05 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,497051826E+05 | 0,302724629E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,144457471E+05 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,506535268E+05 | 0,291221387E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,144766102E+05 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,527617554E+05 | 0,272138901E+05 |
| 0,364326101E+04 | 0,141752967E+05 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,516739976E+05 | 0,318000824E+05 |
| 0,364326101E+04 | 0,147678490E+05 | 0,222867231E+05 | 0,834740869E+05 | 0,517022451E+05 | 0,316918418E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,144457471E+05 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,526535268E+05 | 0,291221387E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,144766102E+05 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,527617554E+05 | 0,272138901E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,141444258E+05 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,495969346E+05 | 0,301787109E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,141752967E+05 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,497051826E+05 | 0,302724629E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,141444258E+05 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,495969346E+05 | 0,301787109E+05 |
| 0,367278864E+04 | 0,141752967E+05 | 0,212992776E+05 | 0,797756455E+05 | 0,497051826E+05 | 0,302724629E+05 |

4.5. ENSAIO COM O DINAMÔMETRO III

A tensão de saída do dinamômetro III, ΔV_{III} , foi determinada diretamente na *PONTE AMPLIFICADORA*. Antes do ensaio procedeu-se ao balanceamento da *PONTE*. Em cada ensaio, realizaram-se 20 leituras de ΔV_{III} e calcularam-se, através da equação (3.3.1), 20 forças axiais, conforme mostra a TABELA IV.3 que apresenta os resultados experimentais do ensaio 24.

TABELA IV.3 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS DA FORÇA AXIAL P DURANTE O ENSAIO 24

| ENSAIO | ΔV_{III} [mV] | P [tf] |
|--------|-----------------------|--------|
| 24 | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |
| | 1,80 | 19,889 |

ENSAIO 24
FORÇA AXIAL P

Uma vez que a força axial permaneceu constante em cada ensaio (TABELA IV.3), a TABELA IV.4 apresenta os valores experimentais das forças axiais em todos os ensaios realizados.

TABELA IV.4 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS DA FORÇA AXIAL P NOS DIVERSOS ENSAIOS REALIZADOS.

| ENSAIO | P [tf] |
|--------|--------|
| 1 | 8,300 |
| 2 | 9,440 |
| 3 | 8,984 |
| 4 | 10,124 |
| 5 | 9,668 |
| 6 | 10,124 |
| 7 | 10,808 |
| 8 | 11,035 |
| 9 | 8,528 |
| 10 | 9,098 |
| 11 | 18,330 |
| 12 | 16,962 |
| 13 | 9,440 |
| 14 | 17,418 |
| 15 | 11,491 |
| 16 | 11,947 |
| 17 | 11,263 |
| 18 | 13,087 |
| 19 | 14,227 |
| 20 | 16,051 |
| 21 | 17,646 |
| 22 | 20,610 |
| 23 | 21,066 |
| 24 | 19,889 |
| 25 | 14,227 |
| 26 | 16,507 |
| 27 | 16,962 |
| 28 | 17,646 |

4.6. MEDIDA DA ROTAÇÃO

Através de um *ESTROBOSCÓPIO*, indicado na figura 4.1, foi determinada a rotação do eixo do motor de acionamento em cada ensaio. Constatou-se que esta rotação praticamente não variou (1750 rpm) devido principalmente a capacidade do motor ser bastante superior a potência utilizada.

A partir da rotação do eixo do motor de acionamento e das relações de transmissão, calcularam-se as rotações de cada eixo da máquina:

$$n_I = 1750 \text{ rpm}$$

$$n_{II} = n_I / i_1 = 278,22 \text{ rpm}$$

$$n_{III} = n_{II} / i_2 = 71,34 \text{ rpm}$$

$$n_{IV} = n_{III} / i_3 = 33,97 \text{ rpm}$$

$$n_V = n_{III} / i_4 = 24,18 \text{ rpm}$$

$$n_{VI} = n_{IV} / i_5 = 33,97 \text{ rpm}$$

onde,

$$i_1 = \frac{d_{II1}}{d_{I1}} = 6,29$$

$$i_2 = \frac{Z_{III2}}{Z_{II2}} = 3,90$$

$$i_3 = \frac{Z_{IV3}}{Z_{III3}} = 2,10$$

$$i_4 = \frac{Z_{V4}}{Z_{III4}} = 2,95$$

$$i_5 = \frac{Z_{VI5}}{Z_{IV3}} = 1$$

A figura 4.4 apresenta o *DIAGRAMA LOGARITMICO DE VELOCIDADES* da máquina, onde a escala adotada corresponde a série de rotações normalizadas R 20/3 com razão $\psi = 1,4$.

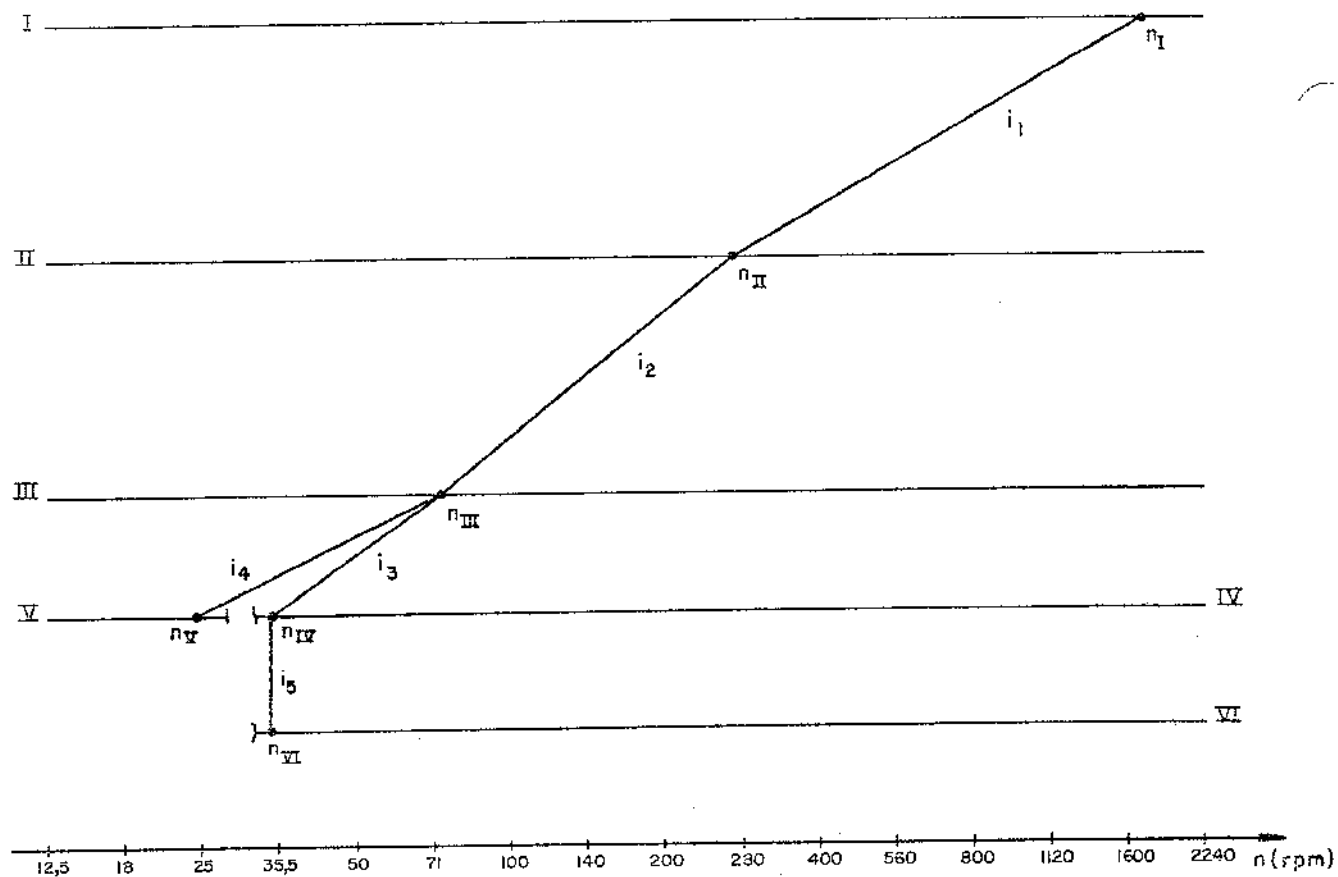


Fig.4.4 - Diagrama Logaritmico de Velocidades da Máquina

CAPÍTULO V

ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

5.1. GENERALIDADES

5.1.1. REGRESSÃO POLINOMIAL

Tendo-se verificado a existência de uma relação entre duas variáveis, deseja-se, frequentemente, expressar essa relação sob forma matemática através do estabelecimento de uma equação que ligue as variáveis. O problema geral da determinação das equações de curvas que se acomodem a certos conjuntos de dados é denominado *AJUSTAMENTO DE CURVAS*. Para evitar o critério individual na construção de curvas de ajustamento que se adaptem ao conjunto de dados, instituiu-se que a melhor é a que torna mínima a soma dos desvios em torno da curva estimada (*MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS*). Assim, com base em dados amostrais pode-se estimar o valor de uma variável dependente y , correspondente ao conhecido de uma variável independente x , mediante a avaliação do valor de y a partir de uma curva de mínimo quadrado que se ajuste aos dados amostrais. A curva resultante é denominada *REGRESSÃO DE y PARA x* .

Dentre as diversas *REGRESSÕES* comumente empregadas, utilizou-se neste capítulo a *REGRESSÃO POLINOMIAL* que consiste em ajustar ao conjunto de n dados amostrais (x, y) um polinômio de grau r , dado por [11], [12]:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_r x^r$$

onde, \hat{y} é o y estimado e $b_0, b_1, b_2, \dots, b_r$ os coeficientes do polinômio.

Aplicando-se o *MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS*, tem-se:

$$\sum (y - \hat{y})^2 = \text{MÍNIMO}$$

Desta condição resulta o seguinte sistema de equações normais:

$$\begin{aligned}\Sigma Y &= nb_0 + b_1 \Sigma x + b_2 \Sigma x^2 + \dots + b_r \Sigma x^r \\ \Sigma xy &= b_0 \Sigma x + b_1 \Sigma x^2 + b_2 \Sigma x^3 + \dots + b_r \Sigma x^{r+1} \\ &\vdots \\ \Sigma x^r y &= b_0 \Sigma x^r + b_1 \Sigma x^{r+1} + b_2 \Sigma x^{r+2} + \dots + b_r \Sigma x^{2r}\end{aligned}$$

que uma vez resolvido determina os coeficientes do polinômio.

5.1.2. DETERMINAÇÃO DO GRAU r DO POLINÔMIO

Para se avaliar o grau r do polinômio mais conveniente, ou seja, do polinômio que melhor se ajusta aos dados amostrais (x, y) , fez-se um *TESTE DE HIPÓTESE* [11]. As hipóteses são:

H_0 : NÃO HÁ MELHORIA

H_1 : HÁ MELHORIA

A *VARIAÇÃO TOTAL*, $\Sigma (y - \bar{y})^2$, pode ser decomposta em duas parcelas: a *VARIAÇÃO EXPLICADA PELA REGRESSÃO*, $\Sigma (\hat{y} - \bar{y})^2$, e outra *RESIDUAL* em torno da regressão, $\Sigma (y - \hat{y})^2$. Portanto,

$$\Sigma (y - \bar{y})^2 = \Sigma (y - \hat{y})^2 + \Sigma (\hat{y} - \bar{y})^2$$

onde, y é o valor observado

\hat{y} é estimado a partir do polinômio

\bar{y} é a média dos y observados = $\frac{\Sigma y}{n}$

O *QUADRO DE ANÁLISE DA VARIÂNCIA* é dado por [11]:

| FONTE DE VARIAÇÃO | SOMA DE QUADRADOS | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADO MÉDIO | F _{CALCULADO} |
|---------------------------------|---|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| POLINÔMIO GRAU "r" MELHORIA | $\Sigma (\hat{Y}_r - \bar{Y})^2$ $\Sigma (\hat{Y}_{r+1} - \bar{Y})^2 - \Sigma (\hat{Y}_r - \bar{Y})^2$ | r $v_1 = 1$ | $S_m^2 = \frac{\text{MELHORIA}}{v_1}$ | $F_{\text{CALC}} = \frac{S_m^2}{S^2}$ |
| POLINÔMIO GRAU "r+1" RESÍDUO | $\Sigma (\hat{Y}_{r+1} - \bar{Y})^2$ $\Sigma (Y - \bar{Y})^2 - \Sigma (\hat{Y}_{r+1} - \bar{Y})^2$ | r+1 $v_2 = n - r - 2$ | $S^2 = \frac{\text{RESÍDUO}}{v_2}$ | |
| TOTAL | $\Sigma (y - \bar{y})^2$ | n-1 | | |

Comparando-se o F_{calc} com o valor $F_{\alpha; v_1; v_2}$ dado na tabela de *SNEDECOR* [11] para o nível de significância α que se deseja, pode-se concluir sobre a melhoria apresentada pelo polinômio de grau $r+1$ relativamente ao de grau r :

- Se $F_{\text{calc}} > F_{\alpha; v_1; v_2}$, rejeita-se H_0 , isto é, para o nível da significância α adotado o polinômio de grau $r+1$ representa melhor o fenômeno.
- Se $F_{\text{calc}} < F_{\alpha; v_1; v_2}$, aceita-se H_0 , isto é, para o nível de significância α o polinômio de grau r representa o fenômeno tão bem quanto o de grau $r+1$. Neste caso deve-se adotar o primeiro que é mais simples.

5.1.3. COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO E ERRO PADRÃO DE ESTIMATIVA [12]

O coeficiente de determinação r^2 mede a excelência do ajustamento aos dados da curva considerada e é dado pelo quociente entre a *VARIAÇÃO EXPLICADA* e a *VARIAÇÃO TOTAL*:

$$r^2 = \frac{\text{VARIAÇÃO EXPLICADA}}{\text{VARIAÇÃO TOTAL}} = \frac{\Sigma (\hat{y} - \bar{y})^2}{\Sigma (y - \bar{y})^2}$$

Se a *VARIAÇÃO NÃO EXPLICADA* foi nula, isto é, se a *VARIAÇÃO TOTAL*

for toda *EXPLICADA*, o coeficiente de determinação será igual a 1. Assim, $(1-r^2) \cdot 100\%$ indica a porcentagem da *VARIAÇÃO TOTAL* que permanece *NÃO EXPLICADA*.

O erro padrão de estimativa S_{yx} , dado por:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n}}$$

indica a dispersão dos y observados em relação a curva de regressão. Pode-se afirmar, portanto, que com 95% de confiança os desvios dos valores observados, y , relativamente aos estimados, \hat{y} , serão inferiores a $1,96 \cdot S_{yx}$ para $n > 30$.

5.2. GRÁFICOS

A partir dos resultados experimentais dos ensaios realizados (CAPÍTULO IV), construíram-se *GRÁFICOS* que permitirão o dimensionamento racional dos eixos, mancais e engrenagens da máquina. Como estes valores são variáveis em função do carregamento e o dimensionamento das engrenagens e rolamentos depende não somente do valor instantâneo da carga como também do seu tempo de atuação (*DIMENSIONAMENTO BASEADO NA RESISTÊNCIA E NA VIDA DO ELEMENTO MECÂNICO*), deverá ser feito um estudo criterioso de dimensionamento, objeto do próximo capítulo.

Os gráficos foram obtidos através da teoria desenvolvida no item 5.1 com o auxílio do *PROGRAMA COMPUTACIONAL POLRG*, escrito em *FORTRAN*, que faz parte da *BIBLIOTECA DE SUBPROGRAMAS CIENTÍFICOS (SSP)* desenvolvido pela *IBM* [13]. Este *PROGRAMA* é o apresentado a seguir:

```
C      SAMPLE MAIN PROGRAM FOR POLYNOMIAL REGRESSION - POLRG
C      THE FOLLOWING DIMENSION MUST BE GREATER THAN OR EQUAL TO THE
C      PRODUCT OF N*(M+1), WHERE N IS THE NUMBER OF OBSERVATIONS AND
C      M IS THE HIGHEST DEGREE POLYNOMIAL SPECIFIED.
C      DIMENSION X(54*)
C      THE FOLLOWING DIMENSION MUST BE GREATER THAN OR EQUAL TO THE
C      PRODUCT OF M*M.
C      DIMENSION DJ(36)
C      THE FOLLOWING DIMENSION MUST BE GREATER THAN OR EQUAL TO
C      (M+2)*(M+1)/2.
C      DIMENSION D(28)
C      THE FOLLOWING DIMENSIONS MUST BE GREATER THAN OR EQUAL TO M.
C      DIMENSION B(6),SB(6),T(6),E(6)
C      THE FOLLOWING DIMENSIONS MUST BE GREATER THAN OR EQUAL TO
C      (M+1).
C      DIMENSION XBAR(7),STD(7),COE(7),SUMSQ(7),ISAVE(7)
C      THE FOLLOWING DIMENSION MUST BE GREATER THAN OR EQUAL TO 10.
C      DIMENSION ANS(10)
C      THE FOLLOWING DIMENSION WILL BE USED IF THE PLOT OF OBSERVED
C      DATA AND ESTIMATES IS DESIRED. THE SIZE OF THE DIMENSION, IN
C      THIS CASE, MUST BE GREATER THAN OR EQUAL TO N*3. OTHERWISE,
C      THE SIZE OF DIMENSION MAY BE SET TO 1.
C      DIMENSION P(15*)
C      COMMON MX,MY
C      1 FORMAT(A4,A2,I5,I2,I1)
C      2 FORMAT(2F)
C      3 FORMAT(////27H POLYNOMIAL REGRESSION,2,2,A4,A2/)
C      4 FORMAT(//23H NUMBER OF OBSERVATION,16//)
C      5 FORMAT(//32H POLYNOMIAL REGRESSION OF DEGREE,13)
C      6 FORMAT(//12H INTERCEPT,F15.5)
C      7 FORMAT(//26H REGRESSION COEFFICIENTS/(10E15.7))
C      8 FORMAT(///24X,24H ANALYSIS OF VARIANCE FOR,14,19H DEGREE POLYNOMIA
C      1L/)
C      9 FORMAT(///,5X,19H SOURCE OF VARIATION,7X,9H DEGREE OF,7X,6H SUM OF,
C      19X,4H MEAN,1*X,1HF,9X,2H IMPROVEMENT IN TERMS/33X,7H FREEDOM,8X,
C      27H SQUARES,7X,6H SQUARE,7X,5H VALUE,8X,17H OF SUM OF SQUARES)
C      10 FORMAT(//20H DUE TO REGRESSION,12X,16,F17.5,E14.7,F13.5,F20.5)
C      11 FORMAT(32H DEVIATION ABOUT REGRESSION ,16,F17.5,F14.5)
C      12 FORMAT(8X,5HTOTAL,19X,16,F17.5//)
C      13 FORMAT(//17H NO IMPROVEMENT)
C      14 FORMAT(///27X,18HTABLE OF RESIDUALS//16H OBSERVATION NO.,5X,7HX V
C      ALUE,7X,7HY VALUE,7X,1*HY ESTIMATE,7X,8H RESIDUAL/)
C      15 FORMAT(//,3X,16,F18.5,F14.5,F17.5,F15.5)
C      16 FORMAT(2I)
C      READ(5,16)MX,MY
C      READ PROBLEM PARAMETER CARD
C      100 READ (5,1) PR,PR1,N,M,NPLOT
C      PR,.,. PROBLEM NUMBER (MAY BE ALPHAMERIC)
C      PR1,.,. PROBLEM NUMBER (CONTINUED)
C      N,.,.,. NUMBER OF OBSERVATIONS
C      M,.,.,. HIGHEST DEGREE POLYNOMIAL SPECIFIED
C      NPLOT,.,. OPTION CODE FOR PLOTTING
C      . IF PLOT IS NOT DESIRED.
C      1 IF PLOT IS DESIRED.
C      PRINT PROBLEM NUMBER AND N.
C      WRITE (MX,3) PR,PR1
C      WRITE (MX,4) N
C      READ INPUT DATA
C      L=N*M
C      DO 110 I=1,N
```

```
      J=L+I
C      X(1) IS THE INDEPENDENT VARIABLE, AND X(J) IS THE DEPENDENT
C      VARIABLE
110 READ (MY,2) X(1),X(J)
    CALL GOATA (N,M,X,XBAR,STD,D,SUMSQ)
    MM=M+1
    SUM=0.0
    NI=N-1
    DO 200 J=1,M
      ISAVE(J)=I
C      FORM SUBSET OF CORRELATION COEFFICIENT MATRIX
    CALL ORDER (MM,D,MM,I,ISAVE,DI,E)
C      INVERT THE SUBMATRIX OF CORRELATION COEFFICIENTS
    CALL MINV (DI,I,DET,B,T)

    CALL MULTR (N,I,XBAR,STD,SUMSQ,DI,E,ISAVE,B,SB,T,ANS)
C      PRINT THE RESULT OF CALCULATION
    WRITE (MX,5) I
    IF(ANS(7)) 140,130,130
130 SUMIP=ANS(4)*SUM
    IF(SUMIP) 140, 140, 150
140 WRITE(MX,13)
    GO TO 210
150 WRITE(MX,6)ANS(1)
    WRITE (MX,7) (B(J),J=1,1)
    WRITE (MX,8) I
    WRITE (MX,9)
    SUM=ANS(4)
    WRITE (MX,10) I,ANS(4),ANS(6),ANS(10),SUMIP
    NI=ANS(8)
    WRITE (MX,11) NI,ANS(7),ANS(9)
    WRITE (MX,12) NI,SUMSQ(MM)
C      SAVE COEFFICIENTS FOR CALCULATION OF Y ESTIMATES
    COE(1)=ANS(1)
    DO 160 J=1,I
160 COE(J+1)=B(J)
    LA=I
200 CONTINUE
C      TEST WHETHER PLOT IS DESIRED
210 IF(NPLOT) 170, 180, 220
C      CALCULATE ESTIMATES
220 NP3=NI+N
    DO 230 I=1,N
      NP3=NP3+1
      P(NP3)=COE(1)
      L=I
      DO 230 J=1,LA
        P(NP3)=P(NP3)+X(L)*COE(J+1)
230 L=L+N
C      COPY OBSERVED DATA
    N2=N
    L=N*M
    DO 240 I=1,N
      P(1)=X(1)
      N2=N2+1
      L=L+1
240 P(N2)=X(L)
C      PRINT TABLE OF RESIDUALS
    WRITE (MX,3) PR,PRI
    WRITE (MX,5) LA
```

```
WRITE (MX,14)
NP2=N
NP3=N+N
DO 250 I=1,N
NP2=NP2+1
NP3=NP3+1
RESID=P(NP2)-P(NP3)
250 WRITE (MX,15) I,P(I),P(NP2),P(NP3),RESID
CALL PLOT (LA,P,N,3,8,1)
GO TO 100
END
```

O referido PROGRAMA não só determina OS COEFICIENTES DE CADA POLINÔMIO AJUSTADO como também efetua A ANÁLISE DA VARIÂNCIA necessária para a escolha do grau do polinômio que melhor se ajusta aos dados amostrais.

Para o que se segue, o número n de observações é 560 e o nível α significância adotado 0,05 (95% de confiança)

5.2.1. DETERMINAÇÃO DO GRÁFICO ($M_I \times M_{V4}$)

a) REGRESSÃO POLINOMIAL DO 1º GRAU

$$\text{coeficientes do polinômio} \begin{cases} b_0 = 31629,8799 \\ b_1 = 0,3017099 \cdot 10^2 \end{cases}$$

QUADRO DE ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O POLINÔMIO DO 1º GRAU

| FONTE DE VARIAÇÃO | SOMA DE QUADRADOS | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADO MÉDIO | F CALCULADO |
|-------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|-------------|
| POLINÔMIO GRAU 1 | $0,2230933 \cdot 10^{12}$ | 1 | | 163,13 |
| MELHORIA | $0,4831183 \cdot 10^{10}$ | 1 | $0,4831183 \cdot 10^{10}$ | |
| POLINÔMIO GRAU 2 | $0,2279245 \cdot 10^{12}$ | 2 | | |
| RESÍDUO | $0,1649615 \cdot 10^{11}$ | 557 | $0,2961607 \cdot 10^8$ | |
| TOTAL | $0,2444207 \cdot 10^{12}$ | 559 | | |

Na TABELA de SNEDECOR encontra-se $F_{0,05;1;557} = 3,85$. Como $F_{\text{calc}} = 163,13 > 3,85$, concluiu que para o nível de significância 0,05 há melhoria.

b) REGRESSÃO POLINOMIAL DO 2º GRAU

$$\text{coeficientes do polinômio} \begin{cases} b_0 = -18317,0371 \\ b_1 = 0,6921677 \cdot 10^2 \\ b_2 = -0,7164567 \cdot 10^{-2} \end{cases}$$

QUADRO DE ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O POLINÔMIO DO 2º GRAU

| FONTE DE VARIACÃO | SOMA DE QUADRADOS | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADO MÉDIO | F _{CALCULADO} |
|-------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------|------------------------|
| POLINÔMIO GRAU 2 | 0,2279245.10 ¹² | 2 | | 1,10 |
| MELHORIA | 0,3258778.10 ⁸ | 1 | 0,3258778.10 ⁸ | |
| POLINÔMIO GRAU 3 | 0,2279571.10 ¹² | 3 | | 1,10 |
| RESÍDUO | 0,1646356.10 ¹¹ | 556 | 0,2961072.10 ⁸ | |
| TOTAL | 0,2444207.10 ¹² | 559 | | |

Na TABELA de *SNEDECOR* encontra-se $F_{0,05;1; 556} = 3,85$.

Como $F_{calc} = 1,10 < 3,85$, conclui-se que para o nível de significância 0,05 não há melhoria. Deve-se, portanto, adotar o POLINÔMIO DO 2º GRAU:

$$M_{V4} = -18317,0371 + 0,6921677 \cdot 10^2 M_I - 0,7164567 \cdot 10^{-2} M_I^2 \quad (5.2.1)$$

Sendo que o *COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO* resulta $r^2 = 0,93$ (significando que 7% da variação total permanece não explicada) e o *ERRO PADRÃO DE ESTIMATIVA* $S_{yx} = 5427,47$ (pode-se afirmar, então, que com 95% de confiança os desvios serão inferiores a 10637,84 kgf.cm). Registrando-se a equação (5.2.1), obtém-se o GRÁFICO 5.1 que apresenta a variação de M_{V4} com M_I .

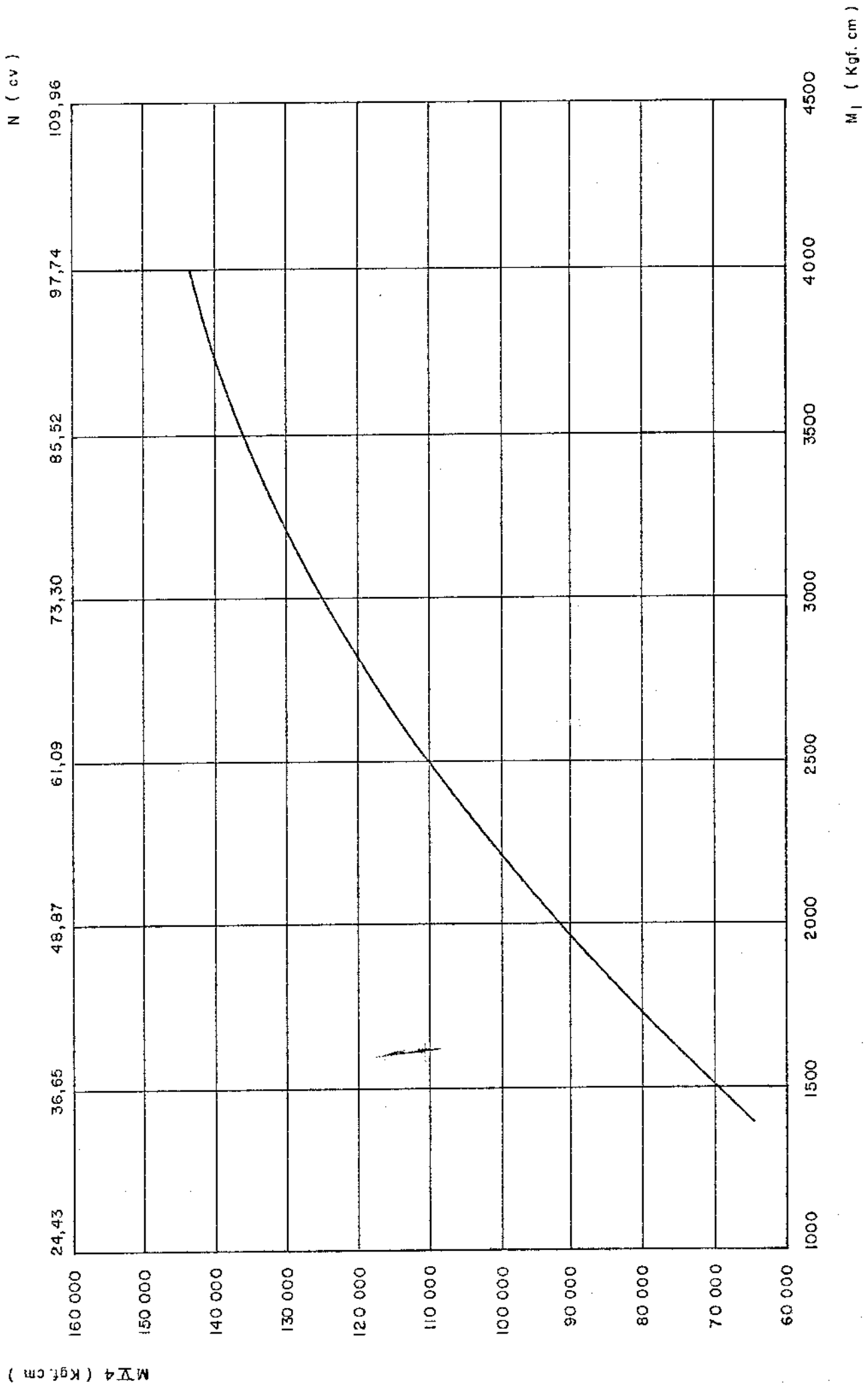


Gráfico 5.1.- Relação entre o momento torçor M_{IV4} , atuante no eixo principal, e o momento torçor no eixo de acionamento, M_I .

M_{IV4} (Kgf.cm)

N (cv)

M_I (Kgf.cm)

5.2.2. DETERMINAÇÃO DO GRÁFICO ($M_I \times M_{III4}$)

a) REGRESSÃO POLINOMIAL DO 1º GRAU

$$\text{coeficientes do polinômio} \begin{cases} b_0 = 11077,0703 \\ b_1 = 0,1058159 \cdot 10^2 \end{cases}$$

QUADRO DE ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O POLINÔMIO DO 1º GRAU

| FONTE DE VARIACÃO | SOMA DE QUADRADOS | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADO MÉDIO | F ^o CALCULADO |
|-------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|
| POLINÔMIO GRAU 1 | 0,2746743.10 ¹¹ | 1 | | 162,98 |
| MELHORIA | 0,5845670.10 ⁹ | 1 | 0,5845670.10 ⁹ | |
| POLINÔMIO GRAU 2 | 0,2805200.10 ¹¹ | 2 | | |
| RESÍDUO | 0,1997763.10 ¹⁰ | 557 | 0,3586649.10 ⁷ | |
| TOTAL | 0,3004976.10 ¹¹ | 559 | | |

Na TABELA de *SNEDECOR* encontra-se $F_{0,05;1;557} = 3,85$.

Como $F_{\text{calc}} = 162,98 > 3,85$, conclui-se que para o nível de significância 0,05 há melhoria.

b) REGRESSÃO POLINOMIAL DO 2º GRAU

$$\text{coeficientes do polinômio} \begin{cases} b_0 = -6300,13086 \\ b_1 = 0,2416814 \cdot 10^2 \\ b_2 = -0,2493189 \cdot 10^2 \end{cases}$$

QUADRO DE ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O POLINÔMIO DO 2º GRAU

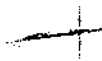
| FONTE DE VARIACÃO | SOMA DE QUADRADOS | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADO MÉDIO | F ^o CALCULADO |
|-------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|
| POLINÔMIO GRAU 2 | 0,2805200.10 ¹¹ | 2 | | 2,09 |
| MELHORIA | 0,7495168.10 ⁷ | 1 | 0,7495168.10 ⁷ | |
| POLINÔMIO GRAU 3 | 0,2805949.10 ¹¹ | 3 | | |
| RESÍDUO | 0,1990268.10 ¹⁰ | 556 | 0,3579619.10 ⁷ | |
| TOTAL | 0,3004976.10 ¹¹ | 559 | | |

Na TABELA de *SNEDECOR* encontra-se $F_{0,05;1;556} = 3,85$.

Como $F_{calc} = 2,09 < 3,85$, conclui-se que para o nível de significância 0,05 não há melhoria. Deve-se adotar, portanto, o POLINÔMIO DO 2º GRAU:

$$M_{III4} = -6300,13086 + 0,2416814.10^2 M_I - 0,2493189.10^{-2} M_I^2 \quad (5.2.2)$$

Sendo que o *COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO* resulta $r^2 = 0,93$ (significando que 7% da variação total permanece não explicada) e o *ERRO PADRÃO DE ESTIMATIVA* $S_{yx} = 1885,22$ (pode-se afirmar, então, que com 95% de confiança os desvios serão inferiores a 3695,03 kgf.cm). Registrando-se a equação (5.2.2), obtém-se o GRÁFICO 5.2 que apresenta a variação de M_{III4} com M_I .



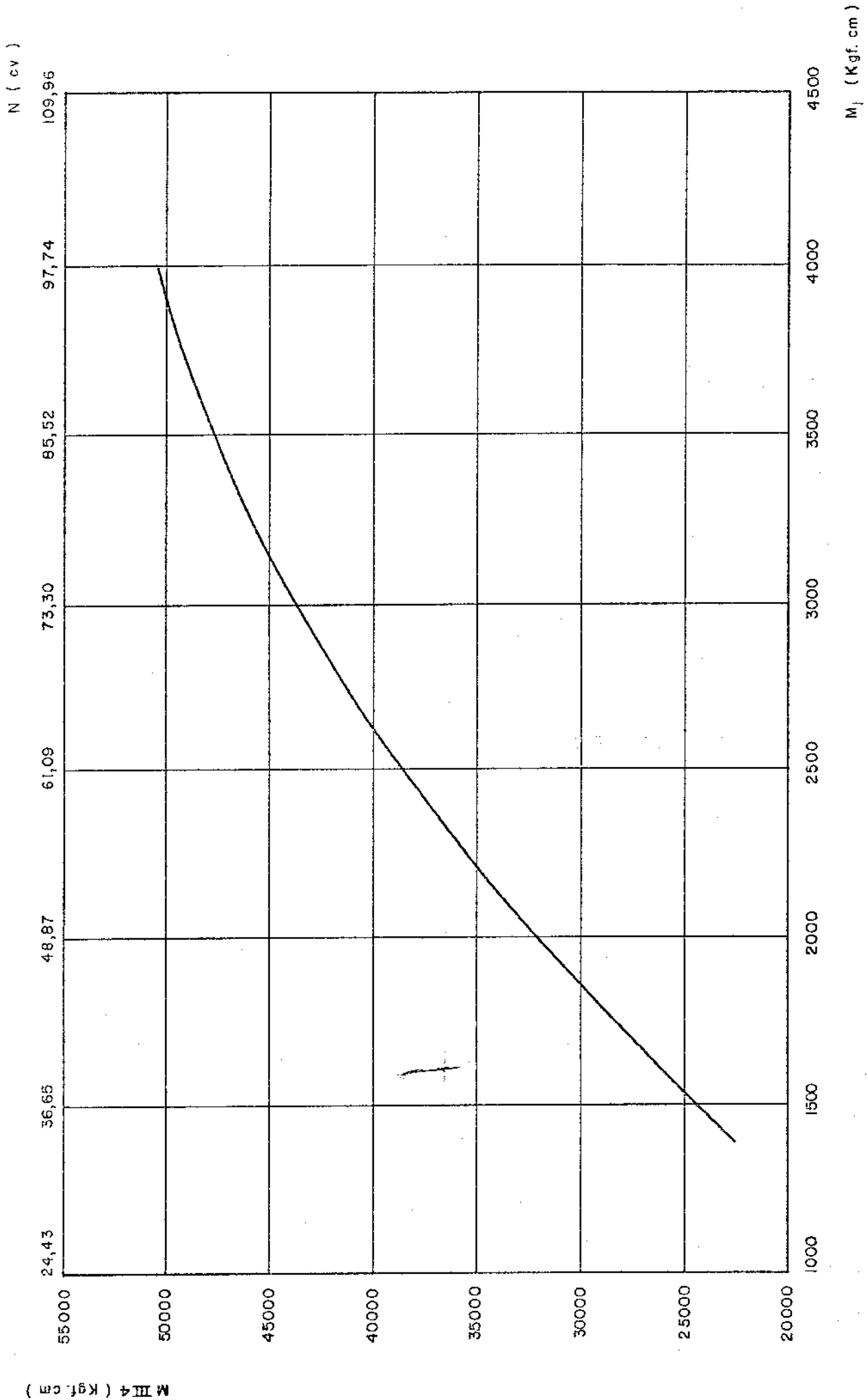


Gráfico 5.2.- Relação entre o momento torçor $M_{III\ 4}$, responsável pelo acionamento do eixo principal, e o momento torçor no eixo de acionamento, M_I .

5.2.3. DETERMINAÇÃO DO GRÁFICO ($M_I \times M_{III3}$)

a) REGRESSÃO POLINOMIAL DO 1º GRAU

$$\text{coeficientes do polinômio} \begin{cases} b_0 = -11065,7769 \\ b_1 = 0,1113881 \cdot 10^2 \end{cases}$$

QUADRO DE ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O POLINÔMIO DO 1º GRAU

| FONTE DE VARIÇÃO | SOMA DE QUADRADOS | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADO MÉDIO | F ^o CALCULADO |
|------------------|---------------------------|--------------------|------------------------|--------------------------|
| POLINÔMIO GRAU 1 | $0,3043642 \cdot 10^{11}$ | 1 | | 162,48 |
| MELHORIA | $0,5827814 \cdot 10^9$ | 1 | $0,5827814 \cdot 10^9$ | |
| POLINÔMIO GRAU 2 | $0,3101921 \cdot 10^{11}$ | 2 | | |
| RESÍDUO | $0,1997879 \cdot 10^{10}$ | 557 | $0,3586857 \cdot 10^7$ | |
| TOTAL | $0,3301708 \cdot 10^{11}$ | 559 | | |

Na TABELA de *SNEDECOR* encontra-se $F_{0,05;1;557} = 3,85$.

Como $F_{\text{calc}} = 162,48 > 3,85$, conclui-se que para o nível de significância 0,05 há melhoria.

b) REGRESSÃO POLINOMIAL DO 2º GRAU

$$\text{coeficientes do polinômio} \begin{cases} b_0 = 6284,75867 \\ b_1 = -0,2426895 \cdot 10^1 \\ b_2 = 0,2489361 \cdot 10^{-2} \end{cases}$$

QUADRO DE ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O POLINÔMIO DO 2º GRAU

| FONTE DE VARIACÃO | SOMA DE QUADRADOS | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADO MÉDIO | F _{CALCULADO} |
|-------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------|------------------------|
| POLINÔMIO GRAU 2 | 0,3101921.10 ¹¹ | 2 | | 3,21 |
| MELHORIA | 0,1148570.10 ⁸ | 1 | 0,1148570.10 ⁸ | |
| POLINÔMIO GRAU 3 | 0,3103069.10 ¹¹ | 3 | | 3,21 |
| RESÍDUO | 0,1986394.10 ¹⁰ | 556 | 0,3572650.10 ⁷ | |
| TOTAL | 0,3301708.10 ¹¹ | 559 | | |

Na TABELA de *SNEDECOR* encontra-se $F_{0,05;1;556} = 3,85$

Como $F_{calc} = 3,21 < 3,85$, conclui-se que para o nível de significância 0,05 não há melhoria. Deve-se adotar, portanto, o POLINÔMIO DO 2º GRAU:

$$M_{III3} = 6284,75867 - 0,2426895 \cdot 10^1 M_I + 0,2489361 \cdot 10^{-2} M_I^2 \quad (5.2.3)$$

Sendo que o *COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO* resulta $r^2 = 0,94$ (significando que 6% da variação total permanece não explicada) e o *ERRO PADRÃO DE ESTIMATIVA* $S_{yx} = 1888,82$ (pode-se afirmar, então, que com 95% de confiança os desvios serão inferiores a 3702,09 kgf.cm). Registrando-se a equação (5.2.3) obtêm-se o GRAFICO 5.3 que apresenta a variação de M_{III3} com M_I .

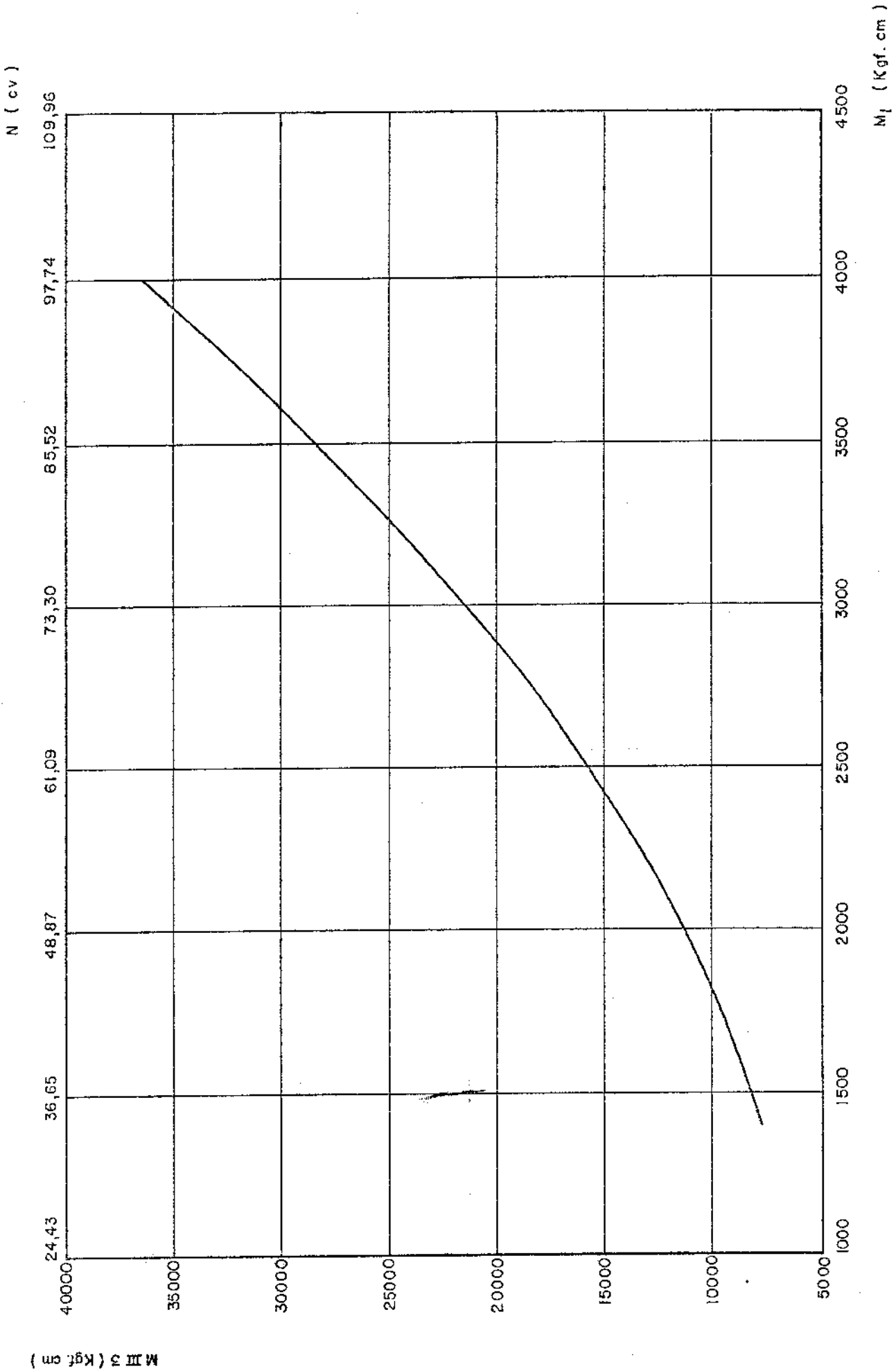


Gráfico 5.3. - Relação entre o momento torçor $M_{III\ 3}$, responsável pelo acionamento dos eixos dos calcadores-alimentadores, e o momento torçor no eixo de acionamento, M_I .

5.2.4. DETERMINAÇÃO DO GRÁFICO ($M_I \times \frac{M_{III4}}{M_{III2}}$)

a) REGRESSÃO POLINOMIAL DO 1º GRAU

coeficientes do polinômio $\begin{cases} b_0 = 0,87926 \\ b_1 = -0,7079199 \cdot 10^{-4} \end{cases}$

QUADRO DE ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O POLINÔMIO DO 1º GRAU

| FONTE DE VARIACÃO | SOMA DE QUADRADOS | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADO MÉDIO | F ^o CALCULADO |
|-------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|
| POLINÔMIO GRAU 1 | $0,1229376 \cdot 10^1$ | 1 | | 19,09 |
| MELHORIA | $0,2392010 \cdot 10^{-1}$ | 1 | $0,2392010 \cdot 10^{-1}$ | |
| POLINÔMIO GRAU 2 | $0,1253296 \cdot 10^1$ | 2 | | |
| RESÍDUO | 0,6978797 | 557 | $0,1252926 \cdot 10^{-2}$ | |
| TOTAL | $0,1951175 \cdot 10^1$ | 559 | | |

Na TABELA de *SNEDECOR* encontra-se $F_{0,05;1;557} = 3,85$.

Como $F_{calc} = 19,09 > 3,85$, conclui-se que para o nível de significância 0,05 há melhoria.

b) REGRESSÃO POLINOMIAL DO 2º GRAU

coeficientes do polinômio $\begin{cases} b_0 = 0,76809 \\ b_1 = 0,1612011 \cdot 10^{-4} \\ b_2 = -0,1594871 \cdot 10^{-7} \end{cases}$

QUADRO DE ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O POLINÔMIO DO 2º GRAU

| FONTE DE VARIACÃO | SOMA DE QUADRADOS | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADO MÉDIO | F ^o CALCULADO |
|-------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------|
| POLINÔMIO GRAU 2 | 0,1253296.10 ¹ | 2 | | 0,28 |
| MELHORIA | 0,3584176.10 ⁻³ | 1 | 0,3584176.10 ⁻³ | |
| POLINÔMIO GRAU 3 | 0,1253654.10 ¹ | 3 | | 0,28 |
| RESÍDUO | 0,6975212 | 556 | 0,1254535.10 ⁻² | |
| TOTAL | 0,1951175.10 ¹ | 559 | | |

Na TABELA de *SNEDECOR* encontra-se $F_{0,05;1;556} = 3,85$.

Como $F_{calc} = 0,28 < 3,85$, conclui-se que para o nível de significância 0,05 não há melhoria. Deve-se adotar, portanto, o POLINÔMIO DO 2º GRAU:

$$\frac{M_{III4}}{M_{III2}} = 0,76809 + 0,1612011.10^{-4} M_I - 0,1594871.10^{-7} M_I^2 \quad (5.2.4)$$

Sendo que o COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO resulta $r^2 = 0,64$ (significando que 36% da variação total permanece não explicada) e o ERRO PADRÃO DE ESTIMATIVA $S_{yx} = 0,0353$ (pode-se afirmar, então, que com 95% de confiança os desvios serão inferiores a 0,0692).

5.2.5. DETERMINAÇÃO DO GRÁFICO ($M_I \times \frac{M_{III3}}{M_{III2}}$)

a) REGRESSÃO POLINÔMIAL DO 1º GRAU

$$\text{coeficientes do polinômio} \begin{cases} b_0 = 0,12061 \\ b_1 = 0,7087334.10^{-4} \end{cases}$$

QUADRO DE ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O POLINÔMIO DO 1º GRAU

| FONTE DE VARIÇÃO | SOMA DE QUADRADOS | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADO MÉDIO | F ^o CALCULADO |
|------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|
| POLINÔMIO GRAU 1 | $0,1232202 \cdot 10^1$ | 1 | | 18,62 |
| MELHORIA | $0,2332535 \cdot 10^{-1}$ | 1 | $0,2332535 \cdot 10^{-1}$ | |
| POLINÔMIO GRAU 2 | $0,1255528 \cdot 10^1$ | 2 | | |
| RESÍDUO | 0,6975113 | 557 | $0,1252264 \cdot 10^{-4}$ | |
| TOTAL | $0,1953039 \cdot 10^1$ | 559 | | |

Na TABELA de *SNEDECOR* encontra-se $F_{0,05;1;557} = 3,85$.

Como $F_{\text{calc}} = 18,62 > 3,85$, conclui-se que para o nível de significância 0,05 há melhoria.

b) REGRESSÃO POLINOMIAL DO 2º GRAU

$$\text{coeficientes do polinômio} \begin{cases} b_0 = 0,23038 \\ b_1 = -0,1494926 \cdot 10^{-4} \\ b_2 = 0,1574879 \cdot 10^{-7} \end{cases}$$

QUADRO DE ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O POLINÔMIO DO 2º GRAU

| FONTE DE VARIÇÃO | SOMA DE QUADRADOS | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADO MÉDIO | F ^o CALCULADO |
|------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|
| POLINÔMIO GRAU 2 | $0,1255528 \cdot 10^1$ | 2 | | 0,29 |
| MELHORIA | $0,3641099 \cdot 10^{-3}$ | 1 | $0,3641099 \cdot 10^{-3}$ | |
| POLINÔMIO GRAU 3 | $0,1255892 \cdot 10^1$ | 3 | | |
| RESÍDUO | 0,6971472 | 556 | $0,1253862 \cdot 10^{-2}$ | |
| TOTAL | $0,1953039 \cdot 10^1$ | 559 | | |

Na TABELA de *SNEDECOR* encontra-se $F_{0,05;1;556} = 3,85$.

Como $F_{\text{calc}} = 0,29 < 3,85$, conclui-se que para o nível de significân

cia 0,05 não há melhoria. Deve-se adotar, portanto, o POLINÔMIO DO 2º GRAU:

$$\frac{M_{III3}}{M_{III2}} = 0,23038 - 0,1494926 \cdot 10^{-4} M_I + 0,1574879 \cdot 10^{-7} M_I^2 \quad (5.2.5)$$

Sendo que o *COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO* resulta $r^2 = 0,64$ (significando que 36% da variação total permanece não explicada) e o *ERRO PADRÃO DE ESTIMATIVA* $S_{yx} = 0,0353$ (pode-se afirmar, portanto, que com 95% de confiança os desvios serão inferiores a 0,0692).

Registrando-se as equações (5.2.4) e (5.2.5) obtém-se o GRÁFICO 5.4 que apresenta as variações de $\frac{M_{III4}}{M_{III2}}$ e $\frac{M_{III3}}{M_{III2}}$ com M_I .

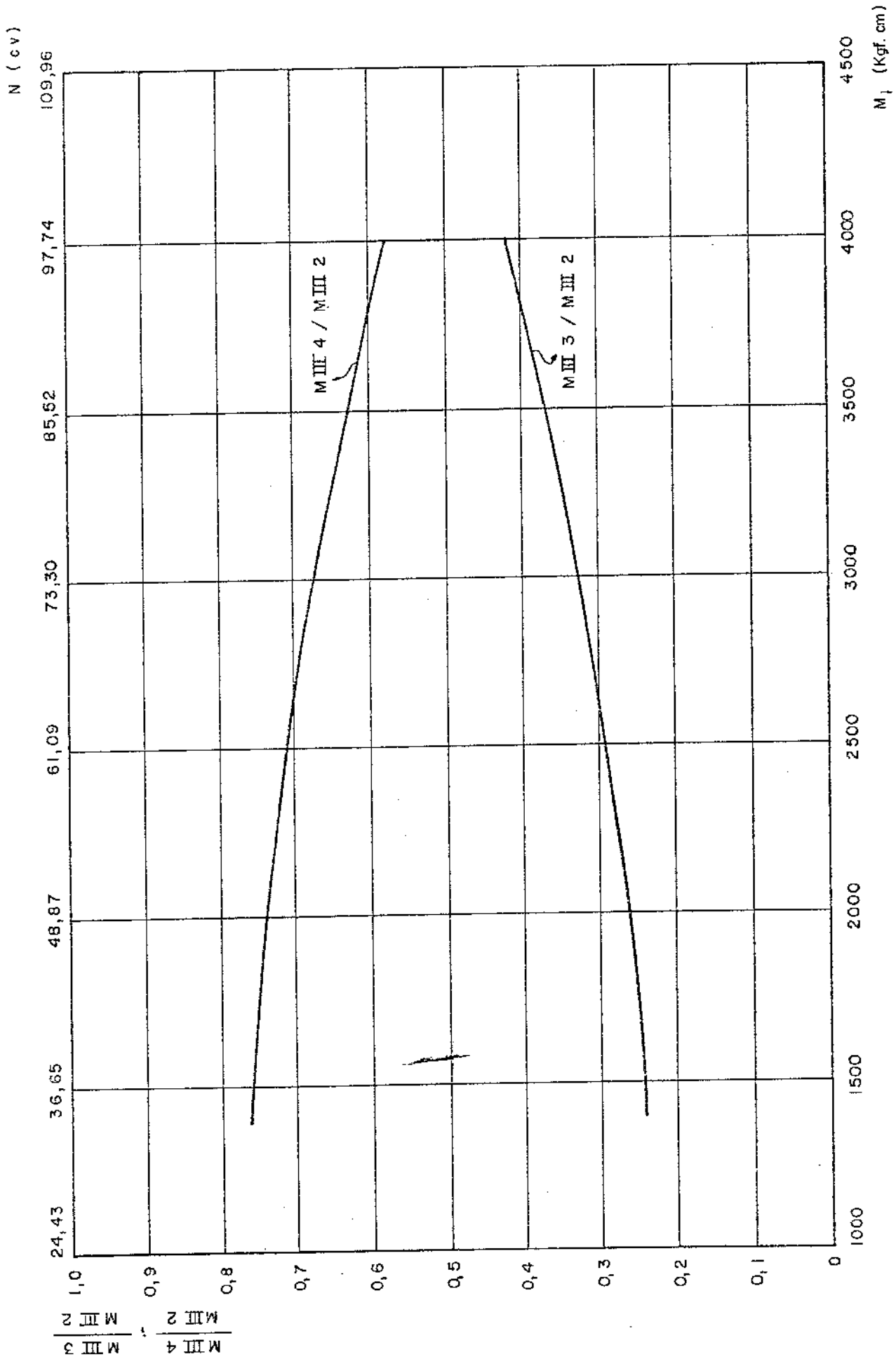


Gráfico 5.4. - Variação das relações M III 4 / M III 2 e M III 3 / M III 2, dos momentos forçores atuantes no eixo III, com o momento torçor no eixo de acionamento, M_I.

5.2.6. DETERMINAÇÃO DO GRÁFICO $(M_I \times \frac{M_{III3}}{M_{III4}})$

a) REGRESSÃO POLINOMIAL DO 1º GRAU

coeficientes do polinômio $\begin{cases} b_0 = 0,04858 \\ b_1 = 0,1541072 \cdot 10^{-3} \end{cases}$

QUADRO DE ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O POLINÔMIO DO 1º GRAU

| FONTE DE VARIÇÃO | SOMA DE QUADRADOS | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADO MÉDIO | F ^o CALCULADO |
|------------------|------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|
| POLINÔMIO GRAU 1 | $0,5825891 \cdot 10^1$ | 1 | | 5,12 |
| MELHORIA | 0,2672001 | 1 | 0,2672001 | |
| POLINÔMIO GRAU 2 | $0,6093091 \cdot 10^1$ | 2 | | 5,12 |
| RESÍDUO | $0,2904164 \cdot 10^1$ | 557 | $0,521394 \cdot 10^{-2}$ | |
| TOTAL | $0,8997255 \cdot 10^1$ | 559 | | |

Na TABELA de *SNEDECOR* encontra-se $F_{0,05;1;557} = 3,85$.

Como $F_{calc} = 5,12 > 3,85$, conclui-se que para o nível de significância 0,05 há melhoria.

b) REGRESSÃO POLINOMIAL DO 2º GRAU

coeficientes do polinômio $\begin{cases} b_0 = 0,4201 \\ b_1 = -0,1363687 \cdot 10^{-3} \\ b_2 = 0,5330348 \cdot 10^{-7} \end{cases}$

QUADRO DE ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O POLINÔMIO DO 2º GRAU

| FONTE DE VARIACÃO | SOMA DE QUADRADOS | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADO MÉDIO | F _{CALCULADO} |
|-------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|------------------------|
| POLINÔMIO GRAU 2 | $0,6093091 \cdot 10^1$ | 2 | | 0,91 |
| MELHORIA | $0,4743397 \cdot 10^{-2}$ | 1 | $0,4743397 \cdot 10^{-2}$ | |
| POLINÔMIO GRAU 3 | $0,6097834 \cdot 10^1$ | 3 | | |
| RESÍDUO | $0,2899421 \cdot 10^1$ | 556 | $0,5214786 \cdot 10^{-2}$ | |
| TOTAL | $0,8997255 \cdot 10^1$ | 559 | | |

Na TABELA de *SNEDECOR* encontra-se $F_{0,05;1;556} = 3,85$.

Como $F_{calc} = 0,91 < 3,85$, conclui-se que para o nível de significância 0,05 não há melhoria. Deve-se adotar, portanto, o POLINÔMIO DO 2º GRAU:

$$\frac{M_{III3}}{M_{III4}} = 0,4201 - 0,1363687 \cdot 10^{-3} M_I + 0,5330348 \cdot 10^{-7} M_I^2 \quad (5.2.6)$$

Sendo que o *COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO* resulta $r^2 = 0,68$ (significando que 32% da variação total permanece não explicada) e o *ERRO PADRÃO DE ESTIMATIVA* $S_{yx} = 0,072$ (pode-se afirmar, portanto, que com 95% de confiança os desvios serão inferiores a 0,141).

Registrando-se a equação (5.2.6) obtêm-se o GRÁFICO 5.5 que apresenta

a variação de $\frac{M_{III3}}{M_{III4}}$ com M_I .

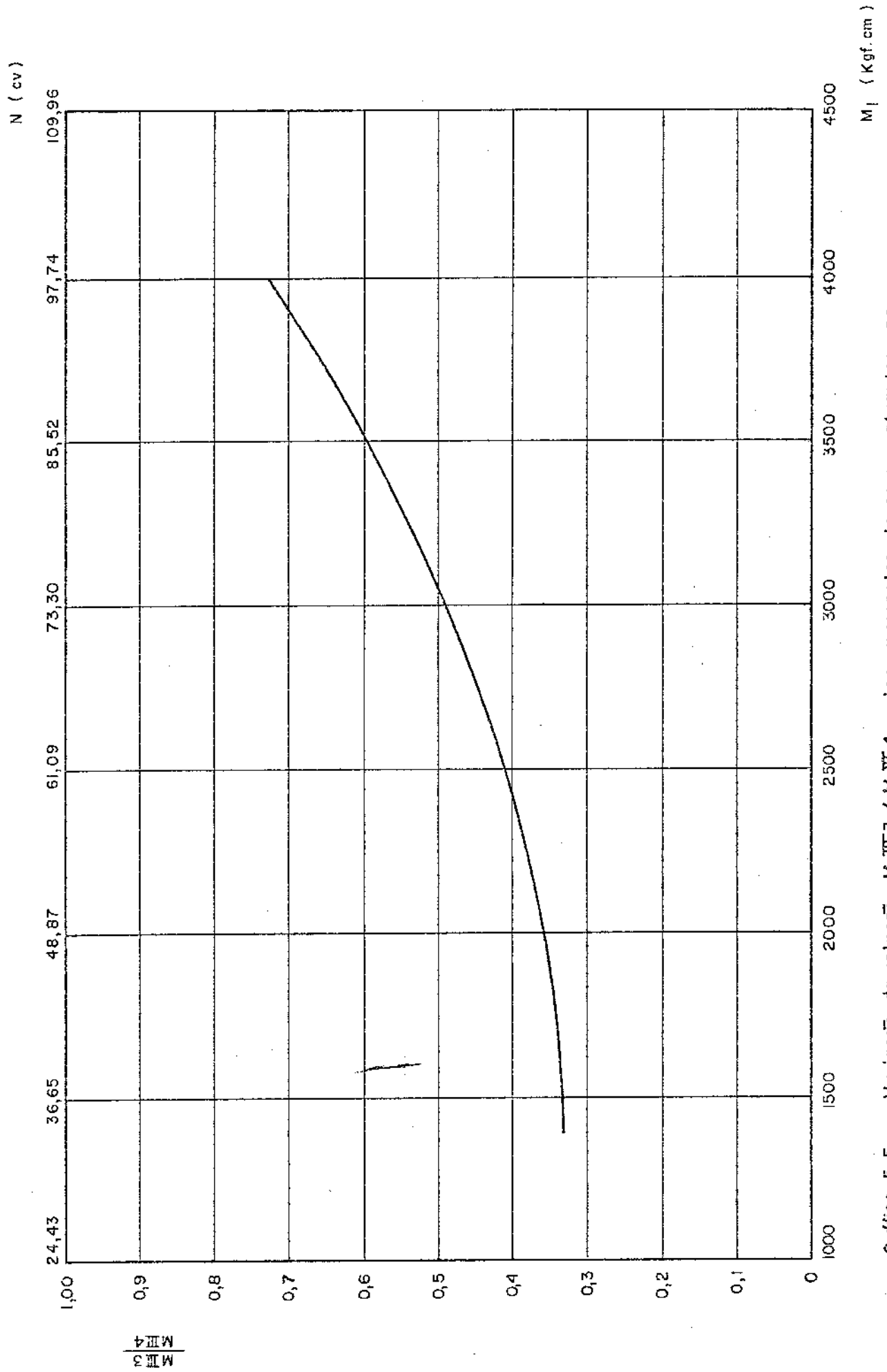


Gráfico 5.5. - Variação da relação M_{III3} / M_{III4} , dos momentos torçores atuantes no eixo III, com o momento torçor no eixo de acionamento, M_J .

5.2.7. DETERMINAÇÃO DO GRÁFICO (M_I x P)

a) REGRESSÃO POLINOMIAL DO 1º GRAU

$$\text{coeficientes do polinômio} \begin{cases} b_0 = -0,43951 \\ b_1 = 0,5407125 \cdot 10^{-2} \end{cases}$$

QUADRO DE ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O POLINÔMIO DO 1º GRAU

| FONTE DE VARIACÃO | SOMA DE QUADRADOS | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADO MÉDIO | F ^o CALCULADO |
|-------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------------|
| POLINÔMIO GRAU 1 | $0,7172145 \cdot 10^4$ | 1 | | 476,54 |
| MELHORIA | $0,8367580 \cdot 10^3$ | 1 | $0,8367580 \cdot 10^3$ | |
| POLINÔMIO GRAU 2 | $0,8008903 \cdot 10^4$ | 2 | | 476,54 |
| RESÍDUO | $0,9780340 \cdot 10^3$ | 557 | $0,1755896 \cdot 10^1$ | |
| TOTAL | $0,8986937 \cdot 10^4$ | 559 | | |

Na TABELA de *SNEDECOR* encontra-se $F_{0,05;1;557} = 3,85$.

Como $F_{\text{calc}} = 476,54 > 3,85$, conclui-se que para o nível de significância 0,05 há melhoria.

b) REGRESSÃO POLINOMIAL DO 2º GRAU

$$\text{coeficientes do polinômio} \begin{cases} b_0 = -13,46718 \\ b_1 = 0,1559295 \cdot 10^{-1} \\ b_2 = -0,1869141 \cdot 10^{-5} \end{cases}$$

QUADRO DE ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O POLINÔMIO DO 2º GRAU

| FONTE DE VARIACÃO | SOMA DE QUADRADOS | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADO MÉDIO | F ^o CALCULADO |
|-------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|
| POLINÔMIO GRAU 2 | 0,8008903.10 ⁴ | 2 | | 3,84 |
| MELHORIA | 0,6719000.10 ¹ | 1 | 0,6719000.10 ¹ | |
| POLINÔMIO GRAU 3 | 0,8015622.10 ⁴ | 3 | | |
| RESÍDUO | 0,9713148.10 ³ | 556 | 0,1746969.10 ¹ | |
| TOTAL | 0,8986937.10 ⁴ | 559 | | |

Na TABELA de *SNEDECOR* encontra-se $F_{0,05;1;556} = 3,85$.

Como $F_{calc} = 3,84 < 3,85$, conclui-se que para o nível de significância 0,05 não há melhoria. Deve-se adotar, portanto, o POLINÔMIO DO 2º GRAU:

$$P = -13,46718 + 0,1559295 \cdot 10^{-1} M_I - 0,1869141 \cdot 10^{-5} M_I^2 \quad (5.2.7)$$

Sendo que o *COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO* resulta $r^2 = 0,89$ (significando que 11% da variação total permanece não explicada) e o *ERRO PADRÃO DE ESTIMATIVA* $S_{yx} = 1,321$ (pode-se afirmar, então, que com 95% de confiança os desvios serão inferiores a 2,589 *tf*).

Registrando-se a equação (5.2.7) obtém-se o GRÁFICO 5.6 que apresenta a variação de P com M_I .

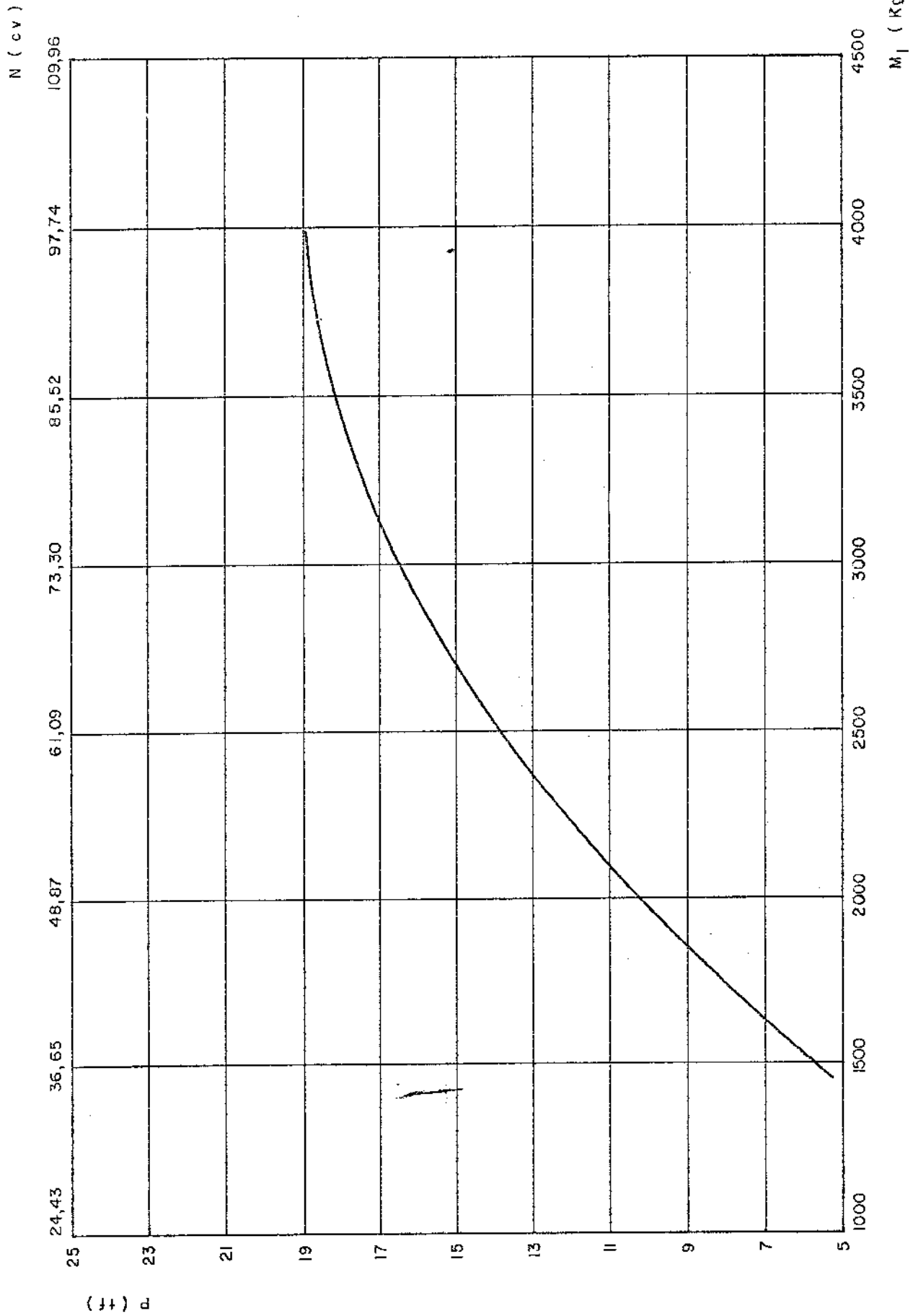


Gráfico 5.6. - Variação da força axial, P , com o momento torçor no eixo de acionamento, M_1 .

CAPÍTULO VI

VERIFICAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES

6.1. GENERALIDADES

O dimensionamento completo da *MARONBA* seria muito extenso, fugindo da finalidade desta pesquisa que tem por objetivo fornecer aos engenheiros projetistas os elementos necessários para a otimização da máquina, elementos estes baseados nos ensaios experimentais e em um critério racional de dimensionamento. Desta forma, escolheram-se alguns componentes representativos e de maior complexidade, tais como o motor elétrico e os órgãos mecânicos referentes ao eixo intermediário (eixo III): pares de rodas dentadas (par motor nº 2, nº 3 e nº 4), os rolamentos e o eixo propriamente.

6.2. MOTOR ELÉTRICO

Os ensaios foram realizados durante dois dias de trabalho com a máquina operando nas mais diversas condições de carregamento a fim de reproduzir o funcionamento real na sua vida útil. A figura 6.1 representa, esquematicamente, os momentos torçores fornecidos pelo motor, nos respectivos tempos de atuação, durante o ensaio. Tratando-se de motor de indução, trifásico, em curto-circuito, de regime contínuo com solicitações variáveis, o MOMENTO TORÇOR EQUIVALENTE pode ser fornecido pela equação [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20] :

$$M_{eq} = \sqrt{\frac{M_1^2 \Delta T_1 + M_2^2 \Delta T_2 + \dots + M_n^2 \Delta T_n}{T}}$$

ou ainda,

$$M_{eq} = \sqrt{\sum M_i^2 f_i} \quad (6.2.1)$$

onde,

$$f_i = \frac{\Delta T_i}{T} \quad (\text{FREQUÊNCIA DE UTILIZAÇÃO})$$

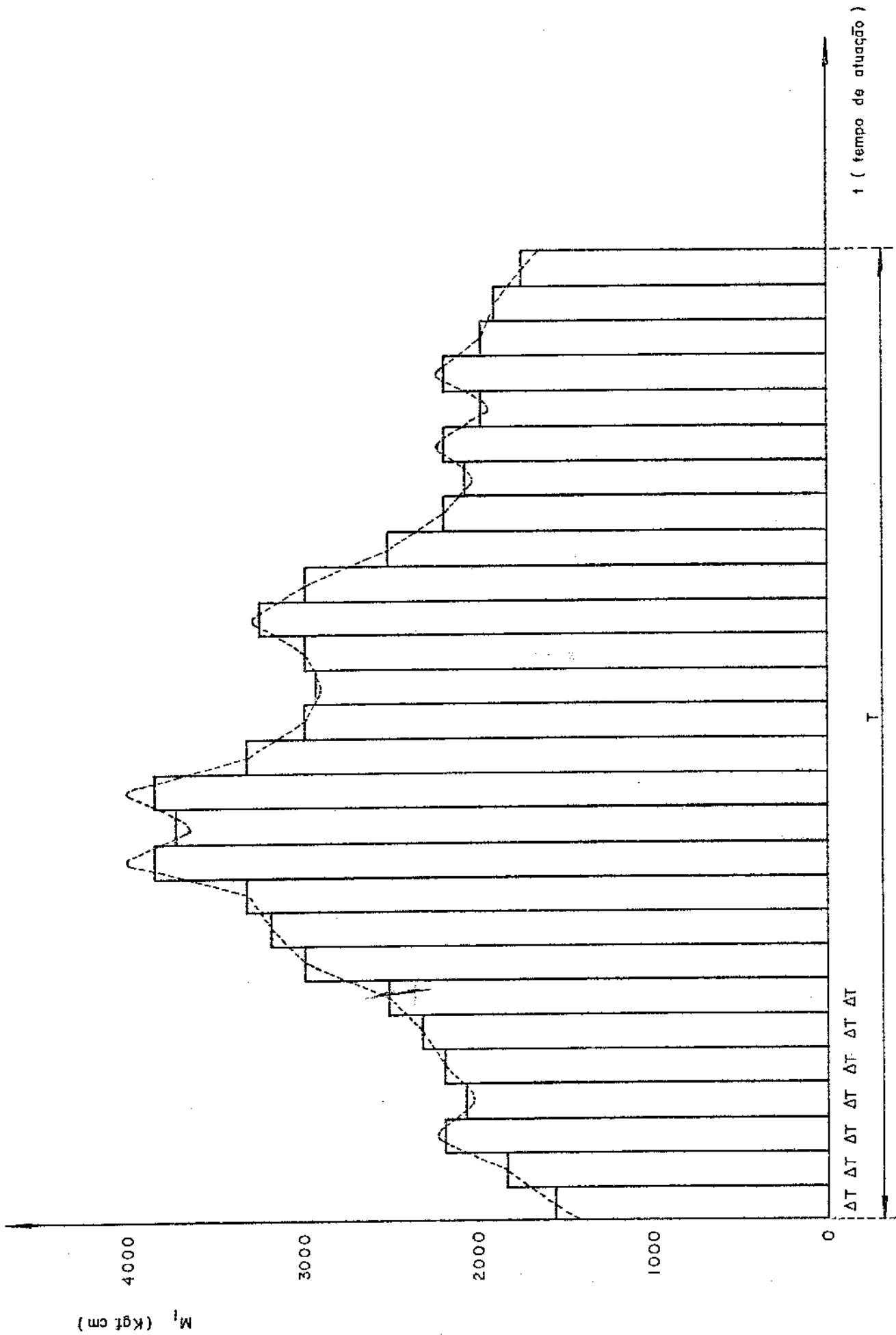


Fig. 6.1. - Diagrama de carga do motor

Através dos ensaios determinou-se o diagrama ordenado de momentos torçores em função das respectivas frequências de utilização (figura 6.2).

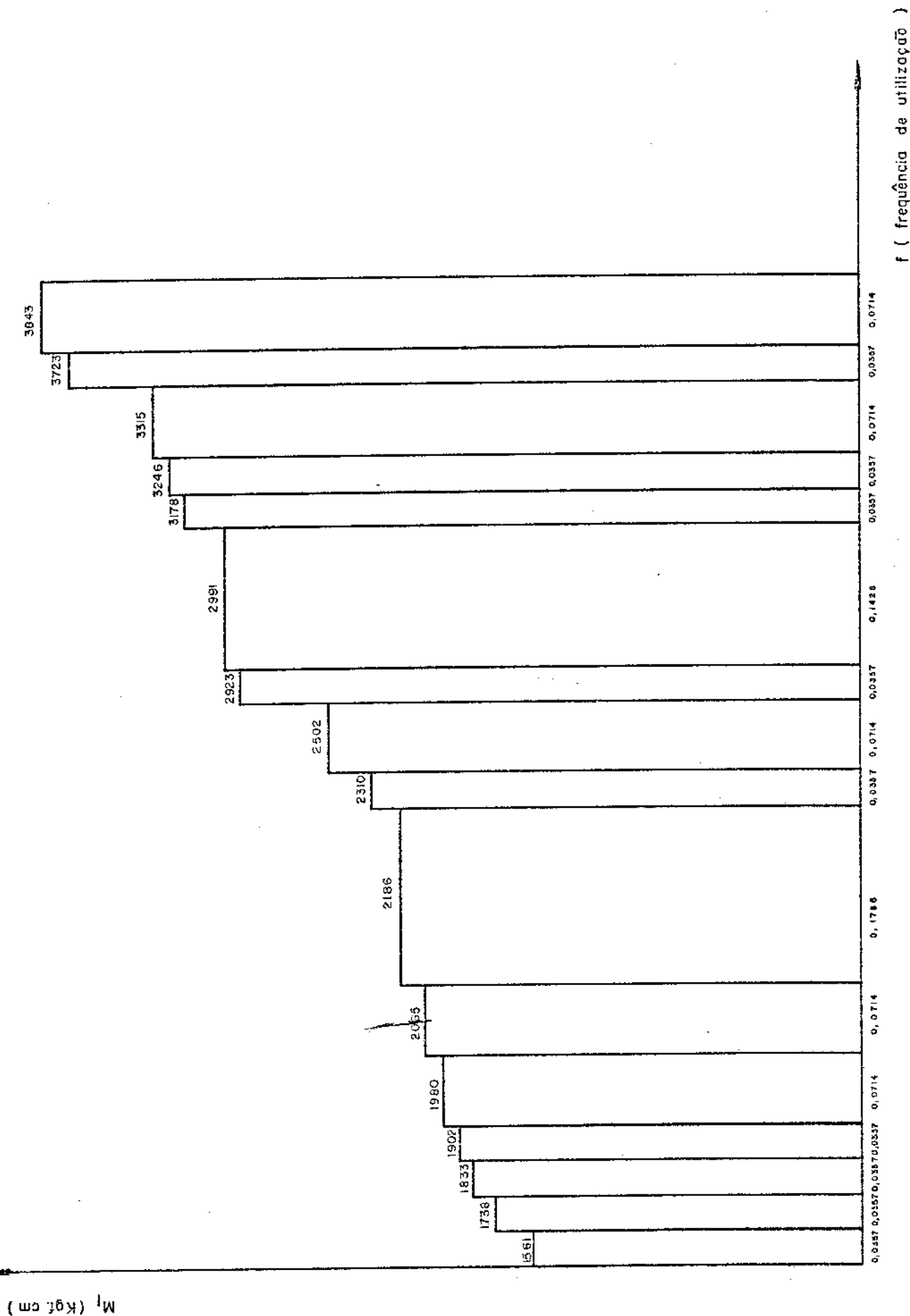


Fig. 6.2. - Diagrama de carga do motor obtido através dos ensaios .

A TABELA VI.1 fornece os valores dos momentos torçores, M_i , das frequências de utilização, f_i , correspondentes, e dos produtos $M_i^2 f_i$.

TABELA VI.1 - VALORES DOS MOMENTOS TORÇORES M_i , DAS FREQUÊNCIAS DE UTILIZAÇÃO f_i E DOS PRODUTOS $M_i^2 f_i$

| MOMENTO TORÇOR M_i | FREQUÊNCIA DE UTILIZAÇÃO f_i | PRODUTO $M_i^2 f_i$ |
|-------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| 1561 | 0,0357 | 86990,94 |
| 1738 | 0,0357 | 107836,99 |
| 1833 | 0,0357 | 119948,04 |
| 1902 | 0,0357 | 129148,46 |
| 1980 | 0,0714 | 279915,56 |
| 2065 | 0,0714 | 304465,67 |
| 2186 | 0,1785 | 852979,39 |
| 2310 | 0,0357 | 190498,77 |
| 2502 | 0,0714 | 446964,29 |
| 2923 | 0,0357 | 305018,27 |
| 2991 | 0,1428 | 1277500,37 |
| 3178 | 0,0357 | 360558,72 |
| 3246 | 0,0357 | 376153,62 |
| 3315 | 0,0714 | 784630,67 |
| 3723 | 0,0357 | 494828,03 |
| 3843 | 0,0714 | 1054481,54 |

Aplicando-se a equação (6.2.1), o MOMENTO TORÇOR EQUIVALENTE fornecido pelo motor será:

$$(M_I)_{eq} = \sqrt{\sum M_i^2 f_i} = 2678 \text{ kgf.cm}$$

Para uma rotação em carga de 1750 rpm (item 4.6) a POTÊNCIA EQUIVALENTE é:

$$N_{eq} = \frac{(M_I)_{eq} n_I}{71620} = 65,4 \text{ cv}$$

Empregando-se, por exemplo, um motor trifásico, de indução, em curto circuito, de fabricação ARNO, para a POTÊNCIA NOMINAL de 75 cv, tem-se:

POTÊNCIA NOMINAL = $N_n = 75 \text{ cv}$

MOMENTO TORÇOR NOMINAL = $M_{tn} = 3069 \text{ kgf.cm}$

ROTAÇÃO NOMINAL = $n_n = 1750 \text{ rpm}$

CARACTERÍSTICA ELÉTRICA = CATEGORIA B

A figura 6.3 fornece a CURVA CARACTERÍSTICA (conjugado x rotação) deste motor, de acordo com o catálogo do fabricante.

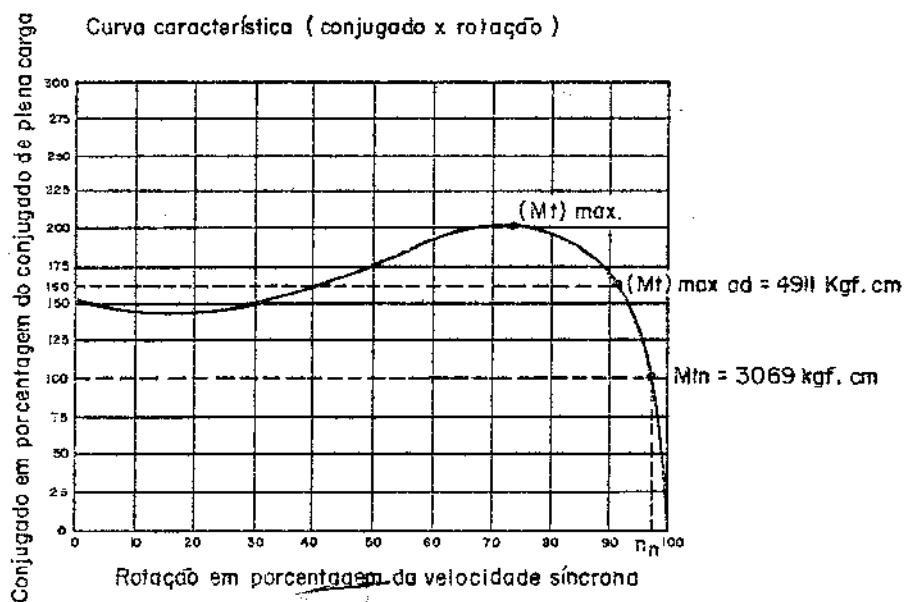


Fig. 6.3 - Curva característica do motor para uma potência nominal (plena carga) de 75 cv

Na TABELA relativa ao *ENSAIO 14* (CAPÍTULO IV), constata-se que o momento torçor máximo fornecido pelo motor, durante todo o tempo de ensaio, foi 4013 kgf.cm. Na figura 6.3 verifica-se que o referido motor, com 80% de seu conjugado máximo pode fornecer um momento torçor de 4911 kgf.cm. De acordo com a literatura especializada [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20], este motor pode trabalhar nesta condição em um tempo aproximado de 10 minutos, desde que a tensão da linha de alimentação se mantenha aproximadamente constante.

Sendo a carga máxima, com a qual o motor trabalhou, 81,7% da carga máxima admissível de 4911 kgf.cm, conclui-se que o motor de 75 cv pode ser empregado nas condições normais de funcionamento da máquina.

6.3. PARES DE RODAS DENTADAS

Para a verificação das *ENGRENAGENS* quanto ao dimensionamento, baseou-se, inicialmente, nos parâmetros geométricos e materiais fornecidos pelo fabricante. A distribuição de momento torçor, nas engrenagens, foi obtida a partir do *DIAGRAMA DE CARGA DO MOTOR* (figura 6.2) e dos *GRÁFICOS* (ou equações) desenvolvidos no item 5.2 do *CAPITULO V*, que fornecem a distribuição de carga nos diferentes eixos da *MAROMBA* em função do momento motor no eixo de acionamento, para a máquina operando em diversas condições de trabalho. A TABELA VI.2 apresenta os valores dos momentos torçores atuantes em cada par motor e suas respectivas frequências de utilização. Neste processamento foi computado o *ERRO PADRÃO DE ESTIMATIVA* para 95% de confiança.

TABELA VI.2 - VALORES DOS MOMENTOS TORÇORES ATUANTES EM CADA PAR MOTOR E SUAS RESPECTIVAS FREQUÊNCIAS DE UTILIZAÇÃO

| $(M_I)_i$ [kgf.cm] | $(M_{III4})_i$ [kgf.cm] | $(M_{III3})_i$ [kgf.cm] | $(M_{III2})_i$ [kgf.cm] | $(M_{III1})_i$ [kgf.cm] | FREQUÊNCIA DE UTILIZA ÇÃO |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 1561 | 29046 | 12264 | 41310 | 10592 | 0,0357 |
| 1738 | 31868 | 13288 | 45156 | 11578 | 0,0357 |
| 1833 | 33318 | 13902 | 47220 | 12108 | 0,0357 |
| 1902 | 34343 | 14376 | 48719 | 12492 | 0,0357 |
| 1980 | 35473 | 14941 | 50414 | 12927 | 0,0714 |
| 2065 | 36671 | 15591 | 52262 | 13400 | 0,0714 |
| 2186 | 38313 | 16577 | 54890 | 14074 | 0,1785 |
| 2310 | 39919 | 17664 | 57583 | 14765 | 0,0357 |
| 2502 | 42256 | 19498 | 61754 | 15834 | 0,0714 |
| 2923 | 46737 | 24162 | 70899 | 18179 | 0,0357 |
| 2991 | 47378 | 24998 | 72376 | 18558 | 0,1428 |
| 3178 | 49021 | 27416 | 76437 | 19599 | 0,0357 |
| 3246 | 49575 | 28338 | 77913 | 19978 | 0,0357 |
| 3315 | 50114 | 29298 | 79412 | 20362 | 0,0714 |
| 3723 | 52815 | 35456 | 88271 | 22634 | 0,0357 |
| 3843 | 53452 | 37425 | 90877 | 23302 | 0,0714 |

Uma vez que as engrenagens estão submetidas a solicitações variáveis (cada momento atua em uma determinada frequência) o *MOMENTO TORÇOR EQUIVALENTE* será dado por [21]:

$$M_{eq} = \sqrt[3]{\sum M_i^3 f_i}$$

Assim, de acordo com a TABELA VI.2:

$$(M_{III4})_{eq} = \sqrt[3]{\sum (M_{III4})_i^3 f_i} = 43398 \text{ kgf.cm} = 433,98 \text{ kgf.m}$$

$$(M_{III3})_{eq} = \sqrt[3]{\sum (M_{III3})_i^3 f_i} = 23993 \text{ kgf.cm} = 239,93 \text{ kgf.m}$$

$$(M_{III2})_{eq} = \sqrt[3]{\sum (M_{III2})_i^3 f_i} = 66926 \text{ kgf.cm} = 669,26 \text{ kgf.m}$$

$$(M_{III})_{eq} = \sqrt[3]{\sum (M_{III})_i^3 f_i} = 17160 \text{ kgf.cm} = 171,60 \text{ kgf.m}$$

Os *COEFICIENTES DE IMPACTO* (razão entre o *MOMENTO TORÇOR MÁXIMO* e o *MOMENTO TORÇOR EQUIVALENTE*) C_{S2} , C_{S3} e C_{S4} para os pares motores nº 2, nº3 e nº 4, respectivamente, são [22]:

$$C_{S2} = \frac{(M_{III})_{\max}}{(M_{III})_{eq}} = \frac{23302}{17160} = 1,36$$

$$C_{S3} = \frac{(M_{III3})_{\max}}{(M_{III3})_{eq}} = \frac{37425}{23993} = 1,56$$

$$C_{S4} = \frac{(M_{III4})_{\max}}{(M_{III4})_{\text{eq}}} = \frac{53452}{43398} = 1,23$$

A figura 6.4 representa esquematicamente os eixos e engrenagens da maromba e apresenta os pares motores nº 2, nº 3 e nº 4 que serão tratados neste item.

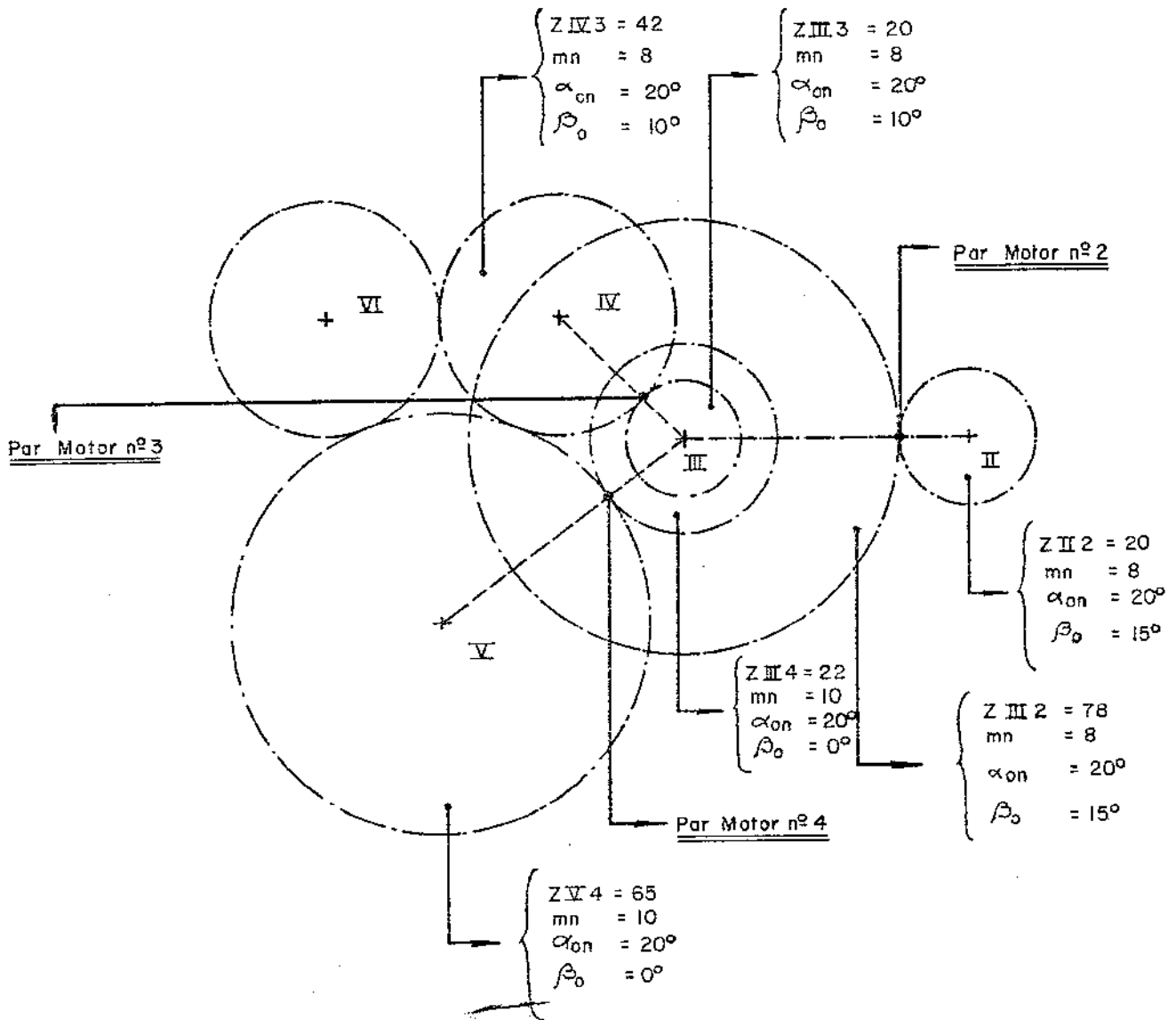


Fig. 6.4. - Representação esquemática dos eixos e engrenagens da maromba e pares motores nº 2, nº 3, nº 4.

A verificação das engrenagens foi feita segundo o *METODO NIEMANN* [22] com o auxílio do *PROGRAMA COMPUTACIONAL ENGRO*, escrito em *FORTRAN* e desenvolvido pelo Eng^o. *GERALDO NONATO TELLES* do Centro de Tecnologia da UNICAMP. Este *PROGRAMA* não só determina os parâmetros geométricos de cada par engrenado como também avalia a vida (em horas) das engrenagens com relação a *FLEXÃO NO PÉ DO DENTE* e quanto a *CRATERIZAÇÃO (PITTING)*.

6.3.1. PAR MOTOR Nº 2

PROJETO DE ENGRENAGENS SEGUNDO METODO NIEMANN

DADOS FORNECIDOS PELO USUARIO

| | | |
|--------|------------|---|
| FMN= | 8.0000 | MODULO NA SECCAO NORMAL AO DENTE EM MM |
| TAU = | 3.9000 | RELACAO DE TRANSMISSAO I22/I21 |
| ROTM = | 278.2200 | ROTACAO DA ENGRENAGEM MOTORA EM RPM |
| BET00= | 15.0000 | ANGULO DE HELICE NA CIRC. PRIMITIVA EM GRAUS |
| AL00G= | 20.0000 | ANGULO DE PRESSAO NA SECCAO NORMAL NA CIRCUNFERENCIA PRIMITIVA EM GRAUS |
| A = | 405.8100 | DISTANCIA ENTRE EIXOS EM MM |
| MEN1 = | FIXA | DISTANCIA ENTRE EIXOS E FIXA |
| X1 = | 0.25000000 | CORRECAO NO PERFIL DO PINHAO |
| MEN2 = | C | ENGRENAGENS USINADAS COM PRECISAO E BEM APOIADAS EM CAIXAS DE ENGRENAGENS |
| B1 = | 155.0000 | LARGURA DO DENTE EM MM |
| TOR0 = | 171.6000 | MOMENTO TORSOR NA ENGRENAGEM MOTORA EMN*KGf |
| MOT = | 1 | INDICE DA ENGRENAGEM MOTORA |
| MEN5 = | 0 | CARGA NUM SO SENTIDO |
| MEN3 = | 9 | QUALIDADE DIN 3962 |
| MEN4 = | BIAPOIADA | INFORMACAO SOBRE O PINHAO |
| CS = | 1.3600 | COEFICIENTE DE IMPACTO, RAZAO ENTRE O MOMENTO MAXIMO EXTERNO E O MOMENTO NOMINAL |
| MAT1 = | 22 | MATERIAL DO PINHAO CONFORME NORMA DIN = CK 45 ACO TEMPERADO EM FORNO OU POR INDUCAO |
| MAT2 = | 5 | MATERIAL DA COROA CONFORME NORMA DIN = GS 52 ACO FUNDIDO |
| MEN6 = | 0 | ENGRENAGEM USADA EM AUTOVEICULOS E INDUSTRIA |
| LUBRI= | 16 | LUBRIFICANTE UTILIZADO GLEO ESSO TERESSO TIPO 100 SA E 90 |
| TEMP= | 45.0000 | TEMP DE SERVICO EM GRAUS CELSIOS |
| H1 = | 350.0000 | DUREZA BRINELL DO PINHAO |
| MEN7 = | 1 | SAIRAO IMPRESSAS TODAS AS VARIAVEIS CALCULADAS |

RESULTADOS CALCULADOS PELO PROGRAMA

| | | |
|---------|-------------|---|
| FMN= | 8.0000 | MODULO NA SECCAO NORMAL AO DENTE EM MM |
| I21 = | 20 | NUMERO DE DENTES DO PINHAO |
| I22 = | 78 | NUMERO DE DENTES DA COROA |
| TAU0 = | 3.9000 | RELACAO EFETIVA DE TRANSMISSAO I22/I21 |
| A0 = | 405.8100 | DISTANCIA ENTRE EIXOS EFETIVA EM MM |
| FMF = | 8.2822 | MODULO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| AL00G= | 19.9934 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO NA SECCAO NORMAL EM GRAUS |
| X1 = | 0.25000000 | CORRECAO NO PERFIL DO DENTE DO PINHAO |
| X2 = | -0.25228718 | CORRECAO NO PERFIL DO DENTE DA COROA |
| AL00G = | 20.6469 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA PRIMITIVA EM GRAUS |

| | | |
|---|-----------|--|
| BETGG= | 14.0761 | ANGULO DE HELICE NA CIRCUNFERENCIA DE BASE EM GRAUS |
| DB1 = | 165.6367 | DIAMETRO DE TRABALHO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DB2 = | 645.9833 | DIAMETRO DE TRABALHO DA COROA SECCAO FRONTAL EM MM |
| D01 = | 165.6442 | DIAMETRO PRIMITIVO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| D02 = | 646.0124 | DIAMETRO PRIMITIVO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DG1 = | 155.0051 | DIAMETRO DE BASE DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DG2 = | 604.5198 | DIAMETRO DE BASE DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DB1N = | 176.0503 | DIAMETRO DE TRABALHO DO PINHAO SECCAO NORMAL EM MM |
| DB2N = | 686.5963 | DIAMETRO DE TRABALHO DA COROA NA SECCAO NORMAL EM MM |
| BETBG= | 14.9994 | ANGULO DE HELICE NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO EM GR |
| AUS | | |
| DF1 = | 149.6442 | DIAMETRO DE FUNDO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DF2 = | 621.9758 | DIAMETRO DE FUNDO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK1 = | 165.6442 | DIAMETRO EXTERNO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK2 = | 657.9758 | DIAMETRO EXTERNO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK1R = | 165.6442 | DIAMETRO EXTERNO REBAIXADO DO PINHAO SECCAO FRONTAL |
| EM MM | | |
| DK2R = | 657.9758 | DIAMETRO EXTERNO REBAIXADO DA COROA SECCAO FRONTAL |
| EM MM | | |
| HK1 = | 10.0037 | ADENDO DO PINHAO EM MM |
| HK2 = | 5.9963 | ADENDO DA COROA EM MM |
| HK1R = | 10.0037 | ADENDO REBAIXADO DO PINHAO EM MM |
| HK2R = | 5.9963 | ADENDO REBAIXADO DA COROA EM MM |
| FMEN = | 7.5175 | MODULO NA LINHA DE ENGRENAMENTO NA SECCAO NORMAL EM |
| MM | | |
| FME = | 7.7503 | MODULO NA LINHA DE ENGRENAMENTO NA SECCAO FRONTAL EM |
| MM | | |
| D01N = | 176.0583 | DIAMETRO PRIMITIVO DO PINHAO NA SECCAO NORMAL EM MM |
| D02N = | 686.6273 | DIAMETRO PRIMITIVO DA COROA NA SECCAO NORMAL EM MM |
| Z1N = | 22.0073 | NUMERO DE DENTES DO PINHAO EQUIVALENTE NA SECCAO NORM |
| AL | | |
| Z2N = | 85.8284 | NUMERO DE DENTES DA COROA EQUIVALENTE NA SECCAO NORM |
| AL | | |
| HF1 = | 7.9963 | DEDENDO DO PINHAO EM MM |
| HF2 = | 12.0037 | DEDENDO DA COROA EM MM |
| ALK1G= | 33.3886 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA EXTERNA DO PINHA |
| O EM GRAUS | | |
| ALK2G= | 23.2550 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA EXTERNA DA COROA |
| EM GRAUS | | |
| ALFBG= | 20.6400 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO NA S |
| ECCAO FRONTAL EM GRAUS | | |
| BMIN = | 155.0000 | LARGURA DAS ENGRENAGENS EM MM |
| E1 = | 0.8998 | GRAU DE RECOBRIMENTO DO PINHAO |
| E2 = | 0.6587 | GRAU DE RECOBRIMENTO DA COROA |
| U = | 2072.0042 | FORCA TANGENCIAL DE ENGRENAMENTO EM KGF |
| ROT1 = | 278.2200 | ROTACAO DO PINHAO EM RPM |
| ROT2 = | 71.3385 | ROTACAO DA COROA EM RPM |
| VELOC= | 2.4129 | VELOCIDADE TANGENCIAL EM M/SEG |
| BMAI = | 0.0007 | PRESSAO ESPECIFICA NO FLANCO DO DENTE EM KGF/MM**2 |
| E = | 1.5577 | GRAU DE RECOBRIMENTO TOTAL |
| UMIN = | 13.3678 | CARGA POR UNIDADE DE LARGURA NO DENTE EM KGF/MM |
| EN = | 1.6556 | GRAU DE RECOBRIMENTO TOTAL NA SECCAO NORMAL |
| GE = | 4.0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE PASSO DA ENGENA |
| GEM | | |
| GR = | 2.0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE DIRECAO DOS FLAN |
| COS DOS DENTES | | |
| GK = | 0.0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE DIRECAO DOS FLAN |
| COS DOS DENTES DEPOIS DE RODADO SOB CARGA | | |
| FR = | 24.8998 | ERRO DE DIRECAO DOS FLANCOS DOS DENTES EM MICRONS |
| FE = | 42.2721 | ERRO DE PASSO DA ENGENAGEM EM MICRONS |
| FRW = | 19.6748 | ERRO DE DIRECAO DOS FLANCOS DOS DENTES DEPOIS DE RODA |
| DO SOB CARGA EM MICRONS | | |

F = 42.2721 MAIOR VALOR DENTRE OS ERROS EM MICRONS
EW = 1.3749 GRAU DE RECOBRIMENTO EFICAZ
QE1 = 0.6811 COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA C
ALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO DENTE DO PINHAO
QE2 = 0.7888 COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA C
ALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO DENTE DA COROA
YE = 0.8379 COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA C
ALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS DOS DENTES
QK1 = 2.3330 FATOR DE FORMA DO PINHAO PARA CALCULO DA SOLICITACAO
NO PE DO DENTE
QK2 = 2.3940 FATOR DE FORMA DA COROA PARA CALCULO DA SOLICITACAO
NO PE DO DENTE
QW1 = 1.5889 COEFICIENTE DO PINHAO PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO
PE DO DENTE
QW2 = 1.8884 COEFICIENTE DA COROA PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO
PE DO DENTE
UDYN = 1.8656 FORCA TANGENCIAL DINAMICA POR MM DE LARGURA DO DENTE
EM KGF/MM
ESP = 1.5962 GRAU DE RECOBRIMENTO DE SALTO
CD = 1.0395 COEFICIENTE DINAMICO DE INFLUENCIA DE CARGA
CZ = 1.0000 CONSTANTE DE ELASTICIDADE DO DENTE KGF/(MM*MICRON)
CT = 1.2470 COEFICIENTE DE REPARTICAO DE CARGA
CBETA= 0.9320 COEFICIENTE DE INFLUENCIA DE CARGA COMRELACAO AO ANG
ULO DE HELICE
BW = 0.1325 VALOR DE CARGA EFICAZ EM KGF/MM**2
FK01 = 4.3000 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA DO FLANCO
DO DENTE DO PINHAO EM KGF/MM**2
FK02 = 0.2100 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO FLANCO
DO DENTE DA COROA EM KGF/MM**2
SIG01= 31.5000 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO D
ENTE DO PINHAO EM KGF/MM**2
SIG02= 15.0000 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO D
ENTE DA COROA EM KGF/MM**2
SIGD1= 31.5000 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE D
O PINHAO EM KGF/MM**2
SIGD2= 15.0000 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE D
A COROA EM KGF/MM**2
SB1 = 7.4747 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DO PINHAO C
OM RELACAO A RUPTURA
SB2 = 2.9949 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DA COROA CO
M RELACAO A RUPTURA
VBETA= 0.9164 COEFICIENTE PARA CALCULO DE PRESSAO NOS FLANCOS COM
RELACAO AO ANGULO DE HELICE
YC = 3.1123 COEFICIENTE PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS COM
RELACAO AO ANGULO DE PRESSAO
YV = 0.7500 COEFICIENTE PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS COM
RELACAO A VELOCIDADE TANGENCIAL
YW1 = 3.4030 COEFICIENTE GERAL PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCO
S DO DENTE DO PINHAO
YW2 = 2.8522 COEFICIENTE GERAL PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCO
S DOS DENTES DA COROA
Y5 = 1.1451 FATOR DE VISCOSIDADE NA TEMPERATURA DESERVICO
VISCO= 169.8273 VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE NA TEMPERATURA DE SERVIC
O EM CENTSTOKES
FNTE= 54.5000 MOMENTO DE TORSAO DEVIDO A CARGA DE CORROSAO M*KGF
V50 = 130.1665 VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE A 50 GRAUSCELSIUS EM CEN
TSTOKES
YG1 = 1.0000 COEFICIENTE PARA CALCULO DA RESISTENCIA DO MATERIAL
DO PINHAO CONTRA A CRATERIZACAO
YG2 = 1.0000 COEFICIENTE PARA CALCULO DA RESISTENCIA DO MATERIAL
DA COROA CONTRA A CRATERIZACAO
YH1 = 0.3460 FATOR DE DUREZA NA SUPERFICIE DO DENTEDO PINHAO
YH2 = 1.0000 FATOR DE DUREZA NA SUPERFICIE DO DENTEDA COROA

| | | |
|--------|------------|---|
| FKD1 = | 1.2779 | COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NOFLANCO DO DENT E DO PINHAO EM KGF/MM**2 |
| FKD2 = | 0.1604 | COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NOFLANCO DO DENT E DA COROA EM KGF/MM**2 |
| SG1 = | 2.2533 | COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DO PINHAO COM RELACAO A CRATERIZACAO |
| SG2 = | 0.3795 | COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DA COROA COM RELACAO A CRATERIZACAO |
| FLHG1= | INFINITA | VIDA DO PINHAO COM RELACAO A CRATERIZACAO |
| FLHG2= | 0.6082E+02 | VIDA DA COROA LIMITADA PELA CRATERIZACAO EM HORAS |
| FLHB1= | INFINITA | VIDA DO PINHAO COM RELACAO A RUPTURA |
| FLHB2= | INFINITA | VIDA DA COROA COM RELACAO A RUPTURA |
| FLH1 = | INFINITA | VIDA DO PINHAO |
| FLH2 = | 0.6082E+02 | VIDA DA COROA EM HORAS |
| FFLH = | 0.6082E+02 | VIDA DO PAR DE ENSRENAGENS EM HORAS |
| WP1 = | 188.6988 | DISTANCIA SOBRE PINOS OU BOLAS DO PINHAO EM MM |
| R1 = | 7.0000 | RAIO DO PINO OU BOLA PARA MEDIDA DO WP1 EM MM |
| WP2 = | 662.2146 | DISTANCIA SOBRE PINOS OU BOLAS DA COROA EM MM |
| R2 = | 7.0000 | RAIO DO PINO OU BOLA PARA MEDIDA DO WP2 EM MM |
| WD1 = | 62.8845 | DISTANCIA SOBRE DENTES DO PINHAO EM MM |
| NWD1 = | 3 | NUMERO DE DENTES PARA MEDIDA DO WD1 |
| WD2 = | 232.6291 | DISTANCIA SOBRE DENTES DA COROA EM MM |
| NWD2 = | 10 | NUMERO DE DENTES PARA MEDIDA DO WD2 |

De acordo com os *RESULTADOS CALCULADOS PELO PROGRAMA*, embora o pinhão e a coroa estejam bem dimensionados com relação a *RUPTURA* (FLHB1 = FLHB2 = vida infinita), quanto a *CRATERIZAÇÃO*, apenas o pinhão apresenta vida (FLHG1) infinita. A vida da coroa (FLHG2) e consequentemente do par (FFLH) está limitada em 60,82 horas.

Assim, a solução encontrada foi fazer a coroa que era de *AÇO FUNDIDO* apenas, com um tratamento térmico, ou seja, *TEMPERA SUPERFICIAL* com dureza 330 BRINELL (perfeitamente possível segundo informação do fabricante).

Tendo-se adotado, então, coroa de *AÇO FUNDIDO*, *TEMPERADA SUPERFICIALMENTE* com dureza 330 BRINELL, os resultados para o par motor nº 2 foram:

PROJETO DE ENGRENAGENS SEGUNDO METODO NIEMANN

DADOS FORNECIDOS PELO USUARIO

FNN= 8.0000 MODULO NA SECCAO NORMAL AO DENTE EM MM
TAU = 3.9000 RELACAO DE TRANSMISSAO I22/I21
ROTM = 278.2200 ROTACAO DA ENGRENAGEM MOTORA EM RPM
BETOG= 15.0000 ANGULO DE HELICE NA CIRC. PRIMITIVA EM GRAUS
ALONG= 20.0000 ANGULO DE PRESSAO NA SECCAO NORMAL NA CIRCUNFERENCIA
PRIMITIVA EM GRAUS
A = 405.8100 DISTANCIA ENTRE EIXOS EM MM
MEN1 = FIXA DISTANCIA ENTRE EIXOS E FIXA
X1 = 0.25000000 CORRECAO NO PERFIL DO PINHAO
MEN2 = C ENGRENAGENS USINADAS COM PRECISAO E BEM APOIADAS EM
CAIXAS DE ENGRENAGENS
B1 = 155.0000 LARGURA DO DENTE EM MM
TORQ = 171.6000 MOMENTO TORSOR NA ENGRENAGEM MOTORA EMM*RGF
NOT = 1 INDICE DA ENGRENAGEM MOTORA
MEN5 = 0 CARGA NUM SO SENTIDO
MEN3 = 9 QUALIDADE DIN 3962
MEN4 = BIAPOIADA INFORMACAO SOBRE O PINHAO
CS = 1.3600 COEFICIENTE DE IMPACTO, RAZAO ENTRE O MOMENTO MAXIMO
EXTERNO E O MOMENTO NOMINAL
MAT1 = 22 MATERIAL DO PINHAO CONFORME NORMA DIN = CK 45_ACO TE
MPERADO EM FORNO OU POR INDUCAO
MAT2 = 5 MATERIAL DA COROA CONFORME NORMA DIN = G5 52_ACO FU
NDIDO
MEN6 = 0 ENGRENAGEM USADA EM AUTOVEICULOS E INDUSTRIA
LUBRI= 16 LUBRIFICANTE UTILIZADO OLEO ESSO TERESSO TIPO 100 SA
E 90
TEMP= 45.0000 TEMP DE SERVIÇO EM GRAUS CELSIOS
H1 = 350.0000 DUREZA BRINELL DO PINHAO
H2 = 330.0000 DUREZA BRINELL DA COROA
MEN7 = 1 SAIRAO IMPRESSAS TODAS AS VARIAVEIS CALCULADAS

RESULTADOS CALCULADOS PELO PROGRAMA

FNN= 8.0000 MODULO NA SECCAO NORMAL AO DENTE EM MM
I21 = 20 NUMERO DE DENTES DO PINHAO
I22 = 78 NUMERO DE DENTES DA COROA
TAU0 = 3.9000 RELACAO EFETIVA DE TRANSMISSAO I22/I21
A0 = 405.8100 DISTANCIA ENTRE EIXOS EFETIVA EM MM
FNF = 8.2822 MODULO NA SECCAO FRONTAL EM MM
ALONG= 19.9934 ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO NA SE
CCAO NORMAL EM GRAUS
X1 = 0.25000000 CORRECAO NO PERFIL DO DENTE DO PINHAO
X2 = -0.25228718 CORRECAO NO PERFIL DO DENTE DA COROA
ALOG = 20.6459 ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA PRIMITIVA EM GRA
US

| | | |
|--|------------|--|
| BET66= | 14. 0751 | ANGULO DE HELICE NA CIRCUNFERENCIA DE BASE EM GRAUS |
| DB1 = | 165. 6367 | DIAMETRO DE TRABALHO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DB2 = | 645. 9833 | DIAMETRO DE TRABALHO DA COROA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DB1 = | 165. 6442 | DIAMETRO PRIMITIVO DO PINHAO NA S |
| ATTY13: - POR FAVOR, ME AVISE QUANDO LIVRAR "MTA1". OBRIGADO | | |
| ECCROFRONTAL EM MM | | |
| DB2 = | 645. 0124 | DIAMETRO PRIMITIVO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DG1 = | 155. 0051 | DIAMETRO DE BASE DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DG2 = | 604. 5198 | DIAMETRO DE BASE DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DB1N = | 176. 0503 | DIAMETRO DE TRABALHO DO PINHAO SECCAO NORMAL EM MM |
| DB2N = | 686. 5963 | DIAMETRO DE TRABALHO DA COROA NA SECCAO NORMAL EM MM |
| BET6G= | 14. 9994 | ANGULO DE HELICE NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO EM GR |
| AUS | | |
| DF1 = | 149. 6442 | DIAMETRO DE FUNDO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DF2 = | 621. 9758 | DIAMETRO DE FUNDO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK1 = | 185. 6442 | DIAMETRO EXTERNO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK2 = | 657. 9758 | DIAMETRO EXTERNO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK1R = | 185. 6442 | DIAMETRO EXTERNO REBAIXADO DO PINHAO SECCAO FRONTAL |
| EM MM | | |
| DK2R = | 657. 9758 | DIAMETRO EXTERNO REBAIXADO DA COROA SECCAO FRONTAL |
| EM MM | | |
| HK1 = | 10. 0037 | ADENDO DO PINHAO EM MM |
| HK2 = | 5. 9963 | ADENDO DA COROA EM MM |
| HK1R = | 10. 0037 | ADENDO REBAIXADO DO PINHAO EM MM |
| HK2R = | 5. 9963 | ADENDO REBAIXADO DA COROA EM MM |
| FMEN = | 7. 5175 | MODULO NA LINHA DE ENGRENAMENTO NA SECCAO NORMAL EM MM |
| MM | | |
| FME = | 7. 7503 | MODULO NA LINHA DE ENGRENAMENTO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| MM | | |
| DB1N = | 176. 0583 | DIAMETRO PRIMITIVO DO PINHAO NA SECCAO NORMAL EM MM |
| DB2N = | 686. 6273 | DIAMETRO PRIMITIVO DA COROA NA SECCAO NORMAL EM MM |
| Z1N = | 22. 0073 | NUMERO DE DENTES DO PINHAO EQUIVALENTENA SECCAO NORM |
| AL | | |
| Z2N = | 85. 8284 | NUMERO DE DENTES DA COROA EQUIVALENTE NA SECCAO NORM |
| AL | | |
| HF1 = | 7. 9963 | DEDENDO DO PINHAO EM MM |
| HF2 = | 12. 0037 | DEDENDO DA COROA EM MM |
| ALK1G= | 33. 3886 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA EXTERNA DO PINHAO EM GRAUS |
| ALK2G= | 23. 2550 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA EXTERNA DA COROA EM GRAUS |
| ALF6G= | 20. 6400 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO NA S |
| ECCAO FRONTAL EM GRAUS | | |
| BMIN = | 155. 0000 | LARGURA DAS ENGRENAGENS EM MM |
| E1 = | 0. 8998 | GRAU DE RECOBRIMENTO DO PINHAO |
| E2 = | 0. 6587 | GRAU DE RECOBRIMENTO DA COROA |
| U = | 2072. 0042 | FORCA TANGENCIAL DE ENGRENAMENTO EM KGF |
| ROT1 = | 278. 2200 | ROTACAO DO PINHAO EM RPM |
| ROT2 = | 71. 3385 | ROTACAO DA COROA EM RPM |
| VELOC= | 2. 4129 | VELOCIDADE TANGENCIAL EM M/SEG |
| EMAI = | 0. 0907 | PRESSAO ESPECIFICA NO FLANCO DO DENTE EM KGF/MM**2 |
| E = | 1. 5577 | GRAU DE RECOBRIMENTO TOTAL |
| UMIN = | 13. 3578 | GARGA POR UNIDADE DE LARGURA NO DENTE EM KGF/MM |
| EN = | 1. 6556 | GRAU DE RECOBRIMENTO TOTAL NA SECCAO NORMAL |
| GE = | 4. 0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE PASSO DA ENGREN |
| GEM | | |
| GR = | 2. 0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE DIRECAO DOS FLAN |
| COS DOS DENTES | | |
| GK = | 0. 0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE DIRECAO DOS FLAN |
| COS DOS DENTES DEPOIS DE RODADO SOB CARGA | | |
| FR = | 24. 8998 | ERRO DE DIRECAO DOS FLANCOS DOS DENTES EM MICRONS |
| FE = | 42. 3721 | ERRO DE PASSO DA ENGRENAGEM EM MICRONS |

FRW = 19.6748 ERRO DE DIREÇÃO DOS FLANCOS DOS DENTES DEPOIS DE RODA DO SOB CARGA EM MICRONS
F = 42.2721 MAIOR VALOR DENTRE OS ERROS EM MICRONS
EW = 1.3749 GRAU DE RECOBRIMENTO EFICAZ
QE1 = 0.8811 COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA O CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO DENTE DO PINHAO
QE2 = 0.7888 COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA O CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO DENTE DA COROA
VE = 0.8379 COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA O CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS DOS DENTES
QK1 = 2.3330 FATOR DE FORMA DO PINHAO PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO DENTE
QK2 = 2.3940 FATOR DE FORMA DA COROA PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO DENTE
QN1 = 1.5889 COEFICIENTE DO PINHAO PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO DENTE
QN2 = 1.8884 COEFICIENTE DA COROA PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO DENTE
UDYN = 1.8656 FORÇA TANGENCIAL DINAMICA POR MM DE LARGURA DO DENTE EM KGF/MM
ESP = 1.5962 GRAU DE RECOBRIMENTO DE SALTO
CD = 1.0395 COEFICIENTE DINAMICO DE INFLUENCIA DE CARGA
CZ = 1.0000 CONSTANTE DE ELASTICIDADE DO DENTE KGF/(MM**MICRON)
CT = 1.2470 COEFICIENTE DE REPARTICAO DE CARGA
CBETA= 0.9320 COEFICIENTE DE INFLUENCIA DE CARGA COMRELACAO AO ANGULO DE HELICE
BW = 0.1325 VALOR DE CARGA EFICAZ EM KGF/MM**2
FK01 = 4.3000 TENSÃO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA DO FLANCO DO DENTE DO PINHAO EM KGF/MM**2
FK02 = 0.2100 TENSÃO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO FLANCO DO DENTE DA COROA EM KGF/MM**2
SIG01= 31.5000 TENSÃO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE DO PINHAO EM KGF/MM**2
SIG02= 15.0000 TENSÃO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE DA COROA EM KGF/MM**2
SIGD1= 31.5000 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE DO PINHAO EM KGF/MM**2
SIGD2= 15.0000 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE DA COROA EM KGF/MM**2
SB1 = 7.4747 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DO PINHAO COM RELACAO A RUPTURA
SB2 = 2.9949 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DA COROA COM RELACAO A RUPTURA
YBETA= 0.9164 COEFICIENTE PARA CALCULO DE PRESSAO NOS FLANCOS COM RELACAO AO ANGULO DE HELICE
YC = 3.1123 COEFICIENTE PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS COM RELACAO AO ANGULO DE PRESSAO
YV = 0.7500 COEFICIENTE PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS COM RELACAO A VELOCIDADE TANGENCIAL
YW1 = 3.4038 COEFICIENTE GERAL PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS DO DENTE DO PINHAO
YW2 = 2.8522 COEFICIENTE GERAL PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS DOS DENTES DA COROA
VS = 1.1451 FATOR DE VISCOSIDADE NA TEMPERATURA DE SERVICIO
VISO= 169.8273 VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE NA TEMPERATURA DE SERVICIO EM CENTSTOKES
PNTES= 54.5000 MOMENTO DE TORSÃO DEVIDO A CARGA DE CORROSAO N*KGF
V50 = 130.1665 VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE A 50 GRAUSCELSIUS EM CENTSTOKES
Y61 = 1.0000 COEFICIENTE PARA CALCULO DA RESISTENCIA DO MATERIAL DO PINHAO CONTRA A CRATERIZACAO
Y62 = 1.0000 COEFICIENTE PARA CALCULO DA RESISTENCIA DO MATERIAL DA COROA CONTRA A CRATERIZACAO

| | | |
|--------|----------|---|
| YH1 = | 0.3450 | FATOR DE DUREZA NA SUPERFICIE DO DENTEDO PINHAO |
| YH2 = | 4.8400 | FATOR DE DUREZA NA SUPERFICIE DO DENTEDA COROA |
| FKD1 = | 1.2773 | COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NOFLANCO DO DENT E DO PINHAO EM KGF/MM**2 |
| FKD2 = | 0.8730 | COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NOFLANCO DO DENT E DA COROA EM KGF/MM**2 |
| SG1 = | 2.2533 | COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DO PINHAO C OM RELACAO A CRATERIZACAO |
| SG2 = | 1.8370 | COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DA COROA CO M RELACAO A CRATERIZACAO |
| FLHG1= | INFINITA | VIDA DO PINHAO COM RELACAO A CRATERIZACAO |
| FLHG2= | INFINITA | VIDA DA COROA COM RELACAO A CRATERIZACAO |
| FLHB1= | INFINITA | VIDA DO PINHAO COM RELACAO A RUPTURA |
| FLHB2= | INFINITA | VIDA DA COROA COM RELACAO A RUPTURA |
| FLH1 = | INFINITA | VIDA DO PINHAO |
| FLH2 = | INFINITA | VIDA DA COROA |
| FFLH = | INFINITA | VIDA DO PAR DE ENGRENAGENS |
| WP1 = | 188.6988 | DISTANCIA SOBRE PINOS OU BOLAS DO PINHAO EM MM |
| R1 = | 7.0000 | RAIO DO PINO OU BOLA PARA MEDIDA DO WP1 EM MM |
| WP2 = | 662.2146 | DISTANCIA SOBRE PINOS OU BOLAS DA COROA EM MM |
| R2 = | 7.0000 | RAIO DO PINO OU BOLA PARA MEDIDA DO WP2 EM MM |
| WD1 = | 62.8845 | DISTANCIA SOBRE DENTES DO PINHAO EM MM |
| NWD1 = | 3 | NUMERO DE DENTES PARA MEDIDA DO WD1 |
| WD2 = | 232.6291 | DISTANCIA SOBRE DENTES DA COROA EM MM |
| NWD2 = | 10 | NUMERO DE DENTES PARA MEDIDA DO WD2 |

De acordo com os *RESULTADOS CALCULADOS PELO PROGRAMA*, tanto o pi
nhão como a coroa estão bem dimensionados com relação a *RUPTURA*
(FLHB1 = FLHB2 = vida infinita) e quanto a *CRATERIZAÇÃO* (FLHG1 =
FLHG2 = vida infinita).

6.3.2. PAR MOTOR Nº 3

PROJETO DE ENGRENAGENS SEGUNDO METODO NIEMANN

DADOS FORNECIDOS PELO USUARIO -

| | | |
|--------|------------|--|
| FMN= | 8.0000 | MODULO NA SECCAO NORMAL AO DENTE EM MM |
| TAU = | 2.1000 | RELACAO DE TRANSMISSAO I22/I21 |
| ROTM = | 71.3400 | ROTACAO DA ENGRENAGEM MOTORA EM RPM |
| BET00= | 10.0000 | ANGULO DE HELICE NA CIRC. PRIMITIVA EM GRAUS |
| AL00G= | 20.0000 | ANGULO DE PRESSAO NA SECCAO NORMAL NA CIRCUNFERENCIA PRIMITIVA EM GRAUS |
| A = | 253.5800 | DISTANCIA ENTRE EIXOS EM MM |
| MEN1 = | FIXA | DISTANCIA ENTRE EIXOS E FIXA |
| X1 = | 0.30000000 | CORRECAO NO PERFIL DO PINHAO |
| MEN2 = | 0 | ENGRENAGENS USINADAS COM PRECISAO E BEM APOIADAS EM CAIXAS DE ENGRENAGENS |
| B1 = | 155.0000 | LARGURA DO DENTE EM MM |
| TOR0 = | 239.9300 | MOMENTO TORSOR NA ENGRENAGEM MOTORA EMM*KGF |
| MOT = | 1 | INDICE DA ENGRENAGEM MOTORA |
| MEN5 = | 0 | CARGA NUM SO SENTIDO |
| MEN3 = | 9 | QUALIDADE DIN 3962 |
| MEN4 = | BIAPOIADA | INFORMACAO SOBRE O PINHAO |
| CS = | 1.5500 | COEFICIENTE DE IMPACTO, RAZAO ENTRE O MOMENTO MAXIMO EXTERNO E O MOMENTO NOMINAL |
| MAT1 = | 22 | MATERIAL DO PINHAO CONFORME NORMA DIN = CK 45 ACO TE MPERADO EM FORNO OU POR INDUCAO |
| MAT2 = | 5 | MATERIAL DA COROA CONFORME NORMA DIN = GS 52 ACO FU NDIDO |
| MEN6 = | 0 | ENGRENAGEM USADA EM AUTOVEICULOS E INDUSTRIA |
| LUBRI= | 16 | LUBRIFICANTE UTILIZADO OLEO ESSO TERESSO TIPO 100 SA E 90 |
| TEMP= | 45.0000 | TEMP DE SERVICO EM GRAUS CELSIOS |
| H1 = | 350.0000 | DUREZA BRINELL DO PINHAO |
| MEN7 = | 1 | SAIRAO IMPRESSAS TODAS AS VARIAVEIS CALCULADAS |

RESULTADOS CALCULADOS PELO PROGRAMA

| | | |
|---------|-------------|--|
| FMN= | 8.0000 | MODULO NA SECCAO NORMAL AO DENTE EM MM |
| I21 = | 20 | NUMERO DE DENTES DO PINHAO |
| I22 = | 42 | NUMERO DE DENTES DA COROA |
| TAU0 = | 2.1000 | RELACAO EFETIVA DE TRANSMISSAO I22/I21 |
| A0 = | 253.5800 | DISTANCIA ENTRE EIXOS EFETIVA EM MM |
| FMF = | 8.1234 | MODULO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| AL00G= | 21.0309 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA DETRABALHO NA SECCAO NORMAL EM GRAUS |
| X1 = | 0.30000000 | CORRECAO NO PERFIL DO DENTE DO PINHAO |
| X2 = | -0.07525503 | CORRECAO NO PERFIL DO DENTE DA COROA |
| AL00G = | 20.2835 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA PRIMITIVA EM GRAUS |

| | | |
|---|-----------|--|
| BETGG= | 9.3913 | ANGULO DE HELICE NA CIRCUNFERENCIA DE BASE EM GRAUS |
| DB1 = | 163.6000 | DIAMETRO DE TRABALHO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DB2 = | 343.5600 | DIAMETRO DE TRABALHO DA COROA SECCAO FRONTAL EM MM |
| D01 = | 162.4693 | DIAMETRO PRIMITIVO DO PINHAO NA SECCAOFRONTAL EM MM |
| D02 = | 341.1834 | DIAMETRO PRIMITIVO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DG1 = | 152.3934 | DIAMETRO DE BASE DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DG2 = | 320.0261 | DIAMETRO DE BASE DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DB1N = | 168.0752 | DIAMETRO DE TRABALHO DO PINHAO SECCAO NORMAL EM MM |
| D02N = | 352.9580 | DIAMETRO DE TRABALHO DA COROA NA SECCAO NGRMAL EM MM |
| BETBG= | 10.0682 | ANGULO DE HELICE NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO EM GR |
| AUS | | |
| DF1 = | 147.2683 | DIAMETRO DE FUNDO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DF2 = | 319.9791 | DIAMETRO DE FUNDO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK1 = | 183.2683 | DIAMETRO EXTERNO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK2 = | 355.9791 | DIAMETRO EXTERNO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK1R = | 183.1809 | DIAMETRO EXTERNO REBRIXADO DO PINHAO SECCAO FRONTAL |
| EM MM | | |
| DK2R = | 355.8917 | DIAMETRO EXTERNO REBRIXADO DA COROA SECCAO FRONTAL |
| EM MM | | |
| HK1 = | 9.8341 | ADENDO DO PINHAO EM MM |
| HK2 = | 6.2096 | ADENDO DA COROA EM MM |
| HK1R = | 9.7904 | ADENDO REBRIXADO DO PINHAO EM MM |
| HK2R = | 6.1659 | ADENDO REBRIXADO DA COROA EM MM |
| FME = | 7.5175 | MODULO NA LINHA DE ENGENRAMENTO NA SECCAO NORMAL EM |
| MM | | |
| FME = | 7.6197 | MODULO NA LINHA DE ENGENRAMENTO NA SECCAO FRONTAL EM |
| MM | | |
| D01N = | 166.9126 | DIAMETRO PRIMITIVO DO PINHAO NA SECCANORMAL EM MM |
| D02N = | 350.5164 | DIAMETRO PRIMITIVO DA COROA NA SECCAO NORMAL EM MM |
| Z1N = | 20.8641 | NUMERO DE DENTES DO PINHAO EQUIVALENTENA SECCAO NORM |
| AL | | |
| Z2N = | 43.8145 | NUMERO DE DENTES DA COROA EQUIVALENTE NA SECCAO NORM |
| AL | | |
| HF1 = | 8.1659 | DEDENDO DO PINHAO EM MM |
| HF2 = | 11.7904 | DEDENDO DA COROA EM MM |
| ALK1G= | 33.7436 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA EXTERNA DO PINHA |
| O EM GRAUS | | |
| ALK2G= | 25.9720 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA EXTERNA DA COROA |
| EM GRAUS | | |
| ALFBG= | 21.3302 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO NA S. |
| ECCAO FRONTAL EM GRAUS | | |
| BMIN = | 155.0000 | LARGURA DAS ENGENRAGENS EM MM |
| E1 = | 0.8834 | GRAU DE RECOBRIMENTO DO PINHAO |
| E2 = | 0.6461 | GRAU DE RECOBRIMENTO DA COROA |
| U = | 2933.1296 | FORCA TANGENCIAL DE ENGENRAMENTO EM KGF |
| ROT1 = | 71.3400 | ROTACAO DO PINHAO EM RPM |
| ROT2 = | 33.9714 | ROTACAO DA COROA EM RPM |
| VELOC= | 0.6111 | VELOCIDADE TANGENCIAL EM M/SEG |
| BMA1 = | 0.1157 | PRESSAO ESPECIFICA NO FLANCO DO DENTE EM KGF/MM**2 |
| E = | 1.5295 | GRAU DE RECOBRIMENTO TOTAL |
| UMIN = | 18.9235 | CARGA POR UNIDADE DE LARGURA NO DENTE EM KGF/MM |
| EN = | 1.5713 | GRAU DE RECOBRIMENTO TOTAL NA SECCAO NORMAL |
| GE = | 4.0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE PASSO DA ENGRENA |
| GEM | | |
| GR = | 2.0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE DIRECAO DOS FLAN |
| COS DOS DENTES | | |
| GK = | 0.0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE DIRECAO DOS FLAN |
| COS DOS DENTES DEPOIS DE RODADO SOB CARGA | | |
| FR = | 24.8990 | ERRO DE DIRECAO DOS FLANCOS DOS DENTES EM MICRONS |
| FE = | 36.5250 | ERRO DE PASSO DA ENGENRAGEM EM MICRONS |
| FRN = | 18.6748 | ERRO DE DIRECAO DOS FLANCOS DOS DENTESDEPOIS DE RODA |
| DO SOB CARGA EM MICRONS | | |

F = 36.5250 MAIOR VALOR DENTRE OS ERROS EM MICRONS
EW = 1.3306 GRAU DE RECOBRIMENTO EFICAZ
QE1 = 0.7102 COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA O
ALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO DENTE DO PINHAO
QE2 = 0.8090 COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA O
ALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO DENTE DA COROA
YE = 0.8187 COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA O
ALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS DOS DENTES
QK1 = 2.2911 FATOR DE FORMA DO PINHAO PARA CALCULO DA SOLICITACAO
NO PE DO DENTE
QK2 = 2.4561 FATOR DE FORMA DA COROA PARA CALCULO DA SOLICITACAO
NO PE DO DENTE
QW1 = 1.6271 COEFICIENTE DO PINHAO PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO
PE DO DENTE
QW2 = 1.9885 COEFICIENTE DA COROA PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO
PE DO DENTE
UDYN = 0.5991 FORCA TANGENCIAL DINAMICA POR MM DE LARGURA DO DENTE
EM KGF/MM
ESP = 1.0709 GRAU DE RECOBRIMENTO DE SALTO
CD = 1.0098 COEFICIENTE DINAMICO DE INFLUENCIA DE CARGA
CZ = 1.0000 CONSTANTE DE ELASTICIDADE DO DENTE KGF/(MM*MICRON)
CT = 1.1566 COEFICIENTE DE REPARTICAO DE CARGA
CBETA= 0.9240 COEFICIENTE DE INFLUENCIA DE CARGA CONRELACAO AO ANG
ULO DE HELICE
BW = 0.1947 VALOR DE CARGA EFICAZ EM KGF/MM**2
FK01 = 4.3000 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA DO FLANCO
DO DENTE DO PINHAO EM KGF/MM**2
FK02 = 0.2100 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO FLANCO
DO DENTE DA COROA EM KGF/MM**2
SIG01= 31.5000 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO D
ENTE DO PINHAO EM KGF/MM**2
SIG02= 15.0000 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO D
ENTE DA COROA EM KGF/MM**2
SIGD1= 31.5000 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE D
O PINHAO EM KGF/MM**2
SIGD2= 15.0000 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE D
A COROA EM KGF/MM**2
SB1 = 4.9710 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DO PINHAO C
OM RELACAO A RUPTURA
SB2 = 1.9369 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DA COROA CO
M RELACAO A RUPTURA
YBETA= 0.9521 COEFICIENTE PARA CALCULO DE PRESSAO NOS FLANCOS COM
RELACAO AO ANGULO DE HELICE
YC = 2.9854 COEFICIENTE PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS COM
RELACAO AO ANGULO DE PRESSAO
YV = 0.7035 COEFICIENTE PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS COM
RELACAO A VELOCIDADE TANGENCIAL
YW1 = 3.5081 COEFICIENTE GERAL PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCO
S DO DENTE DO PINHAO
YW2 = 2.8721 COEFICIENTE GERAL PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCO
S DOS DENTES DA COROA
YS = 1.1451 FATOR DE VISCOSIDADE NA TEMPERATURA DESERVICO
VISCO= 169.8273 VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE NA TEMPERATURA DE SERVIC
O EM CENTSTOKES
FMTE= 54.5000 MOMENTO DE TORSAO DEVIDO A CARGA DE CORROSAO M**KGF
V50 = 130.1665 VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE A 50 GRAUSCELSIUS EM CEN
TSTOKES
YG1 = 1.0000 COEFICIENTE PARA CALCULO DA RESISTENCIA DO MATERIAL
DO PINHAO CONTRA A CRATERIZACAO
YG2 = 1.0000 COEFICIENTE PARA CALCULO DA RESISTENCIA DO MATERIAL
DA COROA CONTRA A CRATERIZACAO
YH1 = 0.3460 FATOR DE DUREZA NA SUPERFICIE DO DENTEDO PINHAO
YH2 = 1.0000 FATOR DE DUREZA NA SUPERFICIE DO DENTEDA COROA

FKD1 = 1.1886 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NOFLANCO DO DENT
E DO PINHAO EM KGF/MM**2
FKD2 = 0.1692 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NOFLANCO DO DENT
E DA COROA EM KGF/MM**2
SG1 = 1.1886 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DO PINHAO C
OM RELACAO A CRATERIZACAO
SG2 = 0.2049 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DA COROA CO
M RELACAO A CRATERIZACAO
FLHG1= INFINITA VIDA DO PINHAO COM RELACAO A CRATERIZACAO
FLHG2= 0.3492E+02 VIDA DA COROA LIMITADA PELA CRATERIZACAO EM HORAS
FLHB1= INFINITA VIDA DO PINHAO COM RELACAO A RUPTURA
FLHB2= INFINITA VIDA DA COROA COM RELACAO A RUPTURA
FLH1 = INFINITA VIDA DO PINHAO
FLH2 = 0.3492E+02 VIDA DA COROA EM HORAS
FFLH = 0.3492E+02 VIDA DO PAR DE ENGRENAGENS EM HORAS
WP1 = 186.0136 DISTANCIA SOBRE PINOS OU BOLAS DO PINHAO EM MM
R1 = 7.0000 RAO DO PINO OU BOLA PARA MEDIDA DO WP1 EM MM
WP2 = 360.1187 DISTANCIA SOBRE PINOS OU BOLAS DA COROA EM MM
R2 = 7.0000 RAO DO PINO OU BOLA PARA MEDIDA DO WP2 EM MM
WD1 = 63.0253 DISTANCIA SOBRE DENTES DO PINHAO EM MM
NND1 = 3 NUMERO DE DENTES PARA MEDIDA DO WD1
WD2 = 118.7809 DISTANCIA SOBRE DENTES DA COROA EM MM
NND2 = 5 NUMERO DE DENTES PARA MEDIDA DO WD2

De acordo com os *RESULTADOS CALCULADOS PELO PROGRAMA*, embora o pinhão e a coroa estejam bem dimensionados com relação a *RUPTURA* (FLHB1 = FLHB2 = vida infinita), quanto a *CRATERIZAÇÃO*, apenas o pinhão apresenta vida (FLHG1) infinita. A vida da coroa (FLHG2) e conseqüentemente do par (FFLH) está limitada em 34,92 horas.

Assim, a solução encontrada foi fazer a coroa que era de *AÇO FUNDIDO* apenas, com um tratamento térmico, ou seja, *TEMPERA SUPERFICIAL* com dureza 340 BRINELL.

Tendo-se adotado, então, coroa de *AÇO FUNDIDO*, *TEMPERADA SUPERFICIALMENTE* com dureza 340 BRINELL, os resultados para o par motor nº 3 foram:

PROJETO DE ENGRENAGENS SEGUNDO METODO NIEMANN

DADOS FORNECIDOS PELO USUARIO

| | | |
|--------|------------|---|
| FMN= | 8.0000 | MODULO NA SECCAO NORMAL AO DENTE EM MM |
| TAU = | 2.1000 | RELACAO DE TRANSMISSAO I22/I21 |
| ROTM = | 71.3400 | ROTACAO DA ENGRENAGEM MOTORA EM RPM |
| BETSG= | 10.0000 | ANGULO DE HELICE NA CIRC. PRIMITIVA EM GRAUS |
| ALNSG= | 20.0000 | ANGULO DE PRESSAO NA SECCAO NORMAL NA CIRCUNFERENCIA PRIMITIVA EM GRAUS |
| A = | 253.5000 | DISTANCIA ENTRE EIXOS EM MM |
| MEN1 = | FIXA | DISTANCIA ENTRE EIXOS E FIXA |
| X1 = | 0.30000000 | CORRECAO NO PERFIL DO PINHAO |
| MEN2 = | C | ENGRENAGENS USINADAS COM PRECISAO E BEM APOIADAS EM CAIXAS D E ENGRENAGENS |
| B1 = | 155.0000 | LARGURA DO DENTE EM MM |
| TORG = | 239.9300 | MOMENTO TORSOR NA ENGRENAGEM MOTORA EMM*KGf |
| MOT = | 1 | INDICE DA ENGRENAGEM MOTORA |
| MEN5 = | 0 | CARGA NUM SO SENTIDO |
| MEN3 = | 9 | QUALIDADE DIN 3962 |
| MEN4 = | BIAPOIADA | INFORMACAO SOBRE O PINHAO |
| CS = | 1.5000 | COEFICIENTE DE IMPACTO, RAZAO ENTRE O MOMENTO MAXIMO EXTERNO E O MOMENTO NOMINAL |
| MAT1 = | 22 | MATERIAL DO PINHAO CONFORME NORMA DIN = CK 45 ACO TEMPERADO EM FORNO OU POR INDUCAO |
| MAT2 = | 5 | MATERIAL DA COROA CONFORME NORMA DIN = GS 52 ACO FUNDIDO |
| MEN6 = | 0 | ENGRENAGEM USADA EM AUTOVEICULOS E INDUSTRIA |
| LUBRI= | 16 | LUBRIFICANTE UTILIZADO OLEO ESSO TERESSO TIPO 100 SAE 90 |
| TEMP= | 45.0000 | TEMP DE SERVICO EM GRAUS CELSIUS |
| H1 = | 350.0000 | DUREZA BRINELL DO PINHAO |
| H2 = | 340.0000 | DUREZA BRINELL DA COROA |
| MEN7 = | 1 | SAIRAO IMPRESSAS TODAS AS VARIABEIS CALCULADAS |

RESULTADOS CALCULADOS PELO PROGRAMA

| | | |
|--------|-------------|---|
| FMN= | 8.0000 | MODULO NA SECCAO NORMAL AO DENTE EM MM |
| I21 = | 20 | NUMERO DE DENTES DO PINHAO |
| I22 = | 42 | NUMERO DE DENTES DA COROA |
| TAU0 = | 2.1000 | RELACAO EFETIVA DE TRANSMISSAO I22/I21 |
| A0 = | 253.5000 | DISTANCIA ENTRE EIXOS EFETIVA EM MM |
| FNF = | 9.1234 | MODULO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| ALNSG= | 21.6369 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO NA SECCAO NORMAL EM GRAUS |
| X1 = | 0.30000000 | CORRECAO NO PERFIL DO DENTE DO PINHAO |
| X2 = | -0.07526502 | CORRECAO NO PERFIL DO DENTE DA COROA |
| AL0G = | 20.2835 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA PRIMITIVA EM GRAUS |
| BETSG= | 9.3913 | ANGULO DE HELICE NA CIRCUNFERENCIA DE BASE EM GRAUS |
| DB1 = | 163.6000 | DIAMETRO DE TRABALHO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |

| | | |
|--|-----------|---|
| DB2 = | 343.5600 | DIAMETRO DE TRABALHO DA COROA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DB1 = | 152.4683 | DIAMETRO PRIMITIVO DO PINHAO NA SECCAOFRONTAL EM MM |
| DB2 = | 341.1834 | DIAMETRO PRIMITIVO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DB1 = | 152.3934 | DIAMETRO DE BASE DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DB2 = | 320.0261 | DIAMETRO DE BASE DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DB1N = | 168.0752 | DIAMETRO DE TRABALHO DO PINHAO SECCAO NORMAL EM MM |
| DB2N = | 352.9580 | DIAMETRO DE TRABALHO DA COROA NA SECCAO NORMAL EM MM |
| BETBG= | 10.0682 | ANGULO DE HELICE NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO EM GRAUS |
| DF1 = | 147.2683 | DIAMETRO DE FUNDO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DF2 = | 319.9791 | DIAMETRO DE FUNDO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK1 = | 183.2683 | DIAMETRO EXTERNO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK2 = | 355.9791 | DIAMETRO EXTERNO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK1R = | 183.1809 | DIAMETRO EXTERNO REBAIXADO DO PINHAO SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK2R = | 355.8917 | DIAMETRO EXTERNO REBAIXADO DA COROA SECCAO FRONTAL EM MM |
| HK1 = | 9.8341 | ADENDO DO PINHAO EM MM |
| HK2 = | 6.2096 | ADENDO DA COROA EM MM |
| HK1R = | 9.7904 | ADENDO REBAIXADO DO PINHAO EM MM |
| HK2R = | 6.1659 | ADENDO REBAIXADO DA COROA EM MM |
| FME = | 7.5175 | MODULO NA LINHA DE ENGRENAMENTO NA SECCAO NORMAL EM MM |
| FME = | 7.6197 | MODULO NA LINHA DE ENGRENAMENTO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| D01N = | 166.9126 | DIAMETRO PRIMITIVO DO PINHAO NA SECCAO NORMAL EM MM |
| D02N = | 350.5164 | DIAMETRO PRIMITIVO DA COROA NA SECCAO NORMAL EM MM |
| Z1N = | 20.8541 | NUMERO DE DENTES DO PINHAO EQUIVALENTE NA SECCAO NORMAL |
| Z2N = | 43.8145 | NUMERO DE DENTES DA COROA EQUIVALENTE NA SECCAO NORMAL |
| HF1 = | 8.1559 | DEDENDO DO PINHAO EM MM |
| HF2 = | 11.7904 | DEDENDO DA COROA EM MM |
| ALK1G= | 33.7436 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA EXTERNA DO PINHAO EM GRA |
| US | | |
| ALK2G= | 25.9728 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA EXTERNA DA COROA EM GRAU |
| S | | |
| ALFBG= | 21.3302 | ANGULO NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO NA SECCAO FR |
| ONTAL EM GRAUS | | |
| BMIN = | 155.0000 | LARGURA DAS ENGRENAGENS EM MM |
| E1 = | 0.8834 | GRAU DE RECOBRIMENTO DO PINHAO |
| E2 = | 0.6461 | GRAU DE RECOBRIMENTO DA COROA |
| U = | 2933.1296 | FORÇA TANGENCIAL DE ENGRENAMENTO EM KGF |
| ROT1 = | 71.3400 | ROTACAO DO PINHAO EM RPM |
| ROT2 = | 33.9714 | ROTACAO DA COROA EM RPM |
| VELOC= | 0.6111 | VELOCIDADE TANGENCIAL EM M/SEG |
| BHAI = | 0.1157 | PRESSAO ESPECIFICA NO FLANCO DO DENTE EM KGF/MM**2 |
| E = | 1.5295 | GRAU DE RECOBRIMENTO TOTAL |
| UNIN = | 18.9235 | CARGA POR UNIDADE DE LARGURA NO DENTE EM KGF/MM |
| EN = | 1.5213 | GRAU DE RECOBRIMENTO TOTAL NA SECCAO NORMAL |
| GE = | 4.0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE PASSO DA ENGRENAGEM |
| GR = | 2.0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE DIRECAO DOS FLANCOS DOS DENTES |
| GK = | 0.0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE DIRECAO DOS FLANCOS DOS DENTES DEPOIS DE RODADO SOB CARGA |
| FR = | 24.8998 | ERRO DE DIRECAO DOS FLANCOS DOS DENTES EM MICRONS |
| EE = | 36.5250 | ERRO DE PASSO DA ENGRENAGEM EM MICRONS |
| FRW = | 18.6748 | ERRO DE DIRECAO DOS FLANCOS DOS DENTES DEPOIS DE RODADO SOB C |
| ARGA EM MICRONS | | |
| F = | 36.5250 | MAIOR VALOR DENTRE OS ERROS EM MICRONS |
| EW = | 1.3306 | GRAU DE RECOBRIMENTO EFICAZ |
| QE1 = | 0.7102 | COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA CALCULO D |
| A SOLICITACAO NO PE DO DENTE DO PINHAO | | |
| QE2 = | 0.8098 | COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA CALCULO D |
| A SOLICITACAO NO PE DO DENTE DA COROA | | |
| YE = | 0.8187 | COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA CALCULO D |
| A PRESSAO NOS FLANCOS DOS DENTES | | |
| OK1 = | 2.2911 | FATOR DE FORMA DO PINHAO PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE D |
| O DENTE | | |
| OK2 = | 2.4581 | FATOR DE FORMA DA COROA PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO |
| DENTE | | |

QN1 = 1.6271 COEFICIENTE DO PINHAO PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO D
 ENTE
 QN2 = 1.9885 COEFICIENTE DA COROA PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO DE
 NTE
 UDVN = 0.5991 FORCA TANGENCIAL DINAMICA POR MM DE LARGURA DO DENTE EM KGF/
 MM
 ESP = 1.0789 GRAU DE RECOBRIMENTO DE SALTO
 CD = 1.0098 COEFICIENTE DINAMICO DE INFLUENCIA DE CARGA
 CZ = 1.0000 CONSTANTE DE ELASTICIDADE DO DENTE KGF/(MM*MICRON)
 CT = 1.1566 COEFICIENTE DE REPARTICAO DE CARGA
 CBETA= 0.9240 COEFICIENTE DE INFLUENCIA DE CARGA COMRELACAO AO ANGULO DE H
 ELICE
 BW = 0.1947 VALOR DE CARGA EFICAZ EM KGF/MM**2
 FK01 = 4.3000 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA DO FLANCO DO DENTE
 DO PINHAO EM KGF/MM**2
 FK02 = 0.2100 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO FLANCO DO DENTE
 DA COROA EM KGF/MM**2
 SIG01= 31.5000 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE DO
 PINHAO EM KGF/MM**2
 SIG02= 15.0000 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE DA
 COROA EM KGF/MM**2
 SIGD1= 31.5000 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE DO PINHAO
 EM KGF/MM**2
 SIGD2= 15.0000 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE DA COROA
 EM KGF/MM**2
 SB1 = 4.9710 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DO PINHAO COM RELAC
 AO A RUPTURA
 SB2 = 1.9369 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DA COROA COM RELACA
 O A RUPTURA
 YBETA= 0.9621 COEFICIENTE PARA CALCULO DE PRESSAO NOS FLANCOS COM RELACAO
 AO ANGULO DE HELICE
 YC = 2.9854 COEFICIENTE PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS COM RELACAO
 AO ANGULO DE PRESSAO
 YV = 0.7035 COEFICIENTE PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS COM RELACAO
 A VELOCIDADE TANGENCIAL
 YW1 = 3.5001 COEFICIENTE GERAL PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS DO DEN
 TE DO PINHAO
 YW2 = 2.8721 COEFICIENTE GERAL PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS DOS DE
 NTES DA COROA
 YS = 1.1451 FATOR DE VISCOSIDADE NA TEMPERATURA DESERVICO
 VISCO= 169.8273 VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE NA TEMPERATURA DE SERVICO EM CEN
 TSTOKES
 FNTES= 54.5000 MOMENTO DE TORSAO DEVIDO A CARGA DE CORROSAO N*KGF
 V50 = 130.1665 VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE A 50 GRAUSCELSIUS EM CENTSTOKES
 YG1 = 1.0000 COEFICIENTE PARA CALCULO DA RESISTENCIA DO MATERIAL DO PINHA
 O CONTRA A CRATERIZACAO
 YG2 = 1.0000 COEFICIENTE PARA CALCULO DA RESISTENCIA DO MATERIAL DA COROA
 CONTRA A CRATERIZACAO
 YH1 = 0.3450 FATOR DE DUREZA NA SUPERFICIE DO DENTEDO PINHAO
 YH2 = 5.1378 FATOR DE DUREZA NA SUPERFICIE DO DENTEDA COROA
 FKD1 = 1.1986 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NOFLANCO DO DENTE DO PIN
 HAO EM KGF/MM**2
 FKD2 = 0.8692 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NOFLANCO DO DENTE DA COR
 OA EM KGF/MM**2
 SG1 = 1.1886 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DO PINHAO COM RELAC
 AO A CRATERIZACAO
 SG2 = 1.0528 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DA COROA COM RELACA
 O A CRATERIZACAO

| | | |
|--------|----------|--|
| FLHG1= | INFINITA | VIDA DO PINHAO COM RELACAO A CRATERIZACAO |
| FLHG2= | INFINITA | VIDA DA COROA COM RELACAO A CRATERIZACAO |
| FLHB1= | INFINITA | VIDA DO PINHAO COM RELACAO A RUPTURA |
| FLHB2= | INFINITA | VIDA DA COROA COM RELACAO A RUPTURA |
| FLH1 = | INFINITA | VIDA DO PINHAO |
| FLH2 = | INFINITA | VIDA DA COROA |
| FPLH = | INFINITA | VIDA DO PAR DE ENGRELAGENS |
| WP1 = | 186.0136 | DISTANCIA SOBRE PINOS OU BOLAS DO PINHAO EM MM |
| R1 = | 7.0000 | RAIO DO PINO OU BOLA PARA MEDIDA DO WP1 EM MM |
| WP2 = | 360.1187 | DISTANCIA SOBRE PINOS OU BOLAS DA COROA EM MM |
| R2 = | 7.0000 | RAIO DO PINO OU BOLA PARA MEDIDA DO WP2 EM MM |
| WD1 = | 63.0253 | DISTANCIA SOBRE DENTES DO PINHAO EM MM |
| NWD1 = | 3 | NUMERO DE DENTES PARA MEDIDA DO WD1 |
| WD2 = | 110.7009 | DISTANCIA SOBRE DENTES DA COROA EM MM |
| NWD2 = | 5 | NUMERO DE DENTES PARA MEDIDA DO WD2 |

De acordo com os *RESULTADOS CALCULADOS PELO PROGRAMA*, tanto o pinhão como a coroa estão bem dimensionados com relação a *RUPTURA* (FLHB1 = FLHB2 = vida infinita) e quanto a *CRATERIZAÇÃO* (FLHG1 = FLHG2 = vida infinita).

6.3.3. PAR MOTOR Nº 4

PROJETO DE ENGRENAGENS SEGUNDO METODO NIEMANN

DADOS FORNECIDOS PELO USUARIO

| | | |
|---------------|------------|--|
| FMN= | 10.0000 | MODULO NA SECCAO NORMAL AO DENTE EM MM |
| TAU = | 2.9500 | RELACAO DE TRANSMISSAO I22/I21 |
| ROTH = | 71.3400 | ROTACAO DA ENGRENAGEM MOTORA EM RPM |
| BETGG= | 0.0000 | ANGULO DE HELICE NA CIRC. PRIMITIVA EM GRAUS |
| ALONG= | 20.0000 | ANGULO DE PRESSAO NA SECCAO NORMAL NA CIRCUNFERENCIA PRIMITIVA EM GRAUS |
| A = | 435.0000 | DISTANCIA ENTRE EIXOS EM MM |
| MEN1 = | FIXA | DISTANCIA ENTRE EIXOS E FIXA |
| X1 = | 0.30000000 | CORRECAO NO PERFIL DO PINHAO |
| MEN2 = | C | ENGRENAGENS USINADAS COM PRECISAO E SEM APOIADAS EM CAIXAS D |
| E ENGRENAGENS | | |
| B1 = | 205.0000 | LARGURA DO DENTE EM MM |
| TORQ = | 433.9800 | MOMENTO TORSOR NA ENGRENAGEM MOTORA EMM*KGf |
| MOT = | 1 | INDICE DA ENGRENAGEM MOTORA |
| MEN5 = | 0 | CARGA NUM SO SENTIDO. |
| MEN3 = | 3 | QUALIDADE DIN 3952 |
| MEN4 = | BIAPOIADA | INFORMACAO SOBRE O PINHAO |
| CS = | 1.2300 | COEFICIENTE DE IMPACTO, RAZAO ENTRE O MOMENTO MAXIMO EXTERNO E O MOMENTO NOMINAL |
| MAT1 = | 22 | MATERIAL DO PINHAO CONFORME NORMA DIN = CK 45 ACO TEMPERADO EM FORNO OU POR INDUCCAO |
| MAT2 = | 5 | MATERIAL DA COROA CONFORME NORMA DIN = GS 52 ACO FUNDIDO |
| MEN6 = | 0 | ENGRENAGEM USADA EM AUTOVEICULOS E INDUSTRIA |
| LUBR1= | 16 | LUBRIFICANTE UTILIZADO OLEO ESSO TERESSO TIPO 100 SAE 90 |
| TEMP= | 45.0000 | TEMP DE SERVICO EM GRAUS CELSIOS |
| H1 = | 350.0000 | DUREZA BRINELL DO PINHAO |
| MEN7 = | 1 | SAIRAO IMPRESSAS TODAS AS VARIABEIS CALCULADAS |

RESULTADOS CALCULADOS PELO PROGRAMA

| | | |
|--------|-------------|---|
| FMN= | 10.0000 | MODULO NA SECCAO NORMAL AO DENTE EM MM |
| I21 = | 22 | NUMERO DE DENTES DO PINHAO |
| I22 = | 65 | NUMERO DE DENTES DA COROA |
| TAUG = | 2.9545 | RELACAO EFETIVA DE TRANSMISSAO I22/I21 |
| AO = | 435.0000 | DISTANCIA ENTRE EIXOS EFETIVA EM MM |
| FMF = | 10.0000 | MODULO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| ALONG= | 20.0000 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO NA SECCAO NORMAL EM GRAUS |
| X1 = | 0.30000000 | CORRECAO NO PERFIL DO DENTE DO PINHAO |
| X2 = | -0.30000012 | CORRECAO NO PERFIL DO DENTE DA COROA |
| ALOG = | 20.0000 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA PRIMITIVA EM GRAUS |
| BETGG= | 0.0000 | ANGULO DE HELICE NA CIRCUNFERENCIA DE BASE EM GRAUS |
| DB1 = | 220.0000 | DIAMETRO DE TRABALHO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DB2 = | 650.0000 | DIAMETRO DE TRABALHO DA COROA SECCAO FRONTAL EM MM |

| | | |
|----------------|-----------|--|
| DB1 = | 220.0000 | DIAMETRO PRIMITIVO DO PINHAO NA SECCAOFRONTAL EM MM |
| DB2 = | 650.0001 | DIAMETRO PRIMITIVO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DG1 = | 206.7324 | DIAMETRO DE BASE DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DG2 = | 610.8003 | DIAMETRO DE BASE DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DB1N = | 220.0000 | DIAMETRO DE TRABALHO DO PINHAO SECCAO NORMAL EM MM |
| DB2N = | 650.0000 | DIAMETRO DE TRABALHO DA COROA NA SECCAO NORMAL EM MM |
| BETBG= | 0.0000 | ANGULO DE HELICE NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO EM GRAUS |
| DF1 = | 201.0000 | DIAMETRO DE FUNDO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DF2 = | 619.0000 | DIAMETRO DE FUNDO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK1 = | 246.0000 | DIAMETRO EXTERNO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK2 = | 664.0000 | DIAMETRO EXTERNO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK1R = | 246.0000 | DIAMETRO EXTERNO REBAIXADO DO PINHAO SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK2R = | 664.0000 | DIAMETRO EXTERNO REBAIXADO DA COROA SECCAO FRONTAL EM MM |
| HK1 = | 13.0000 | ADENDO DO PINHAO EM MM |
| HK2 = | 7.0000 | ADENDO DA COROA EM MM |
| HK1R = | 13.0000 | ADENDO REBAIXADO DO PINHAO EM MM |
| HK2R = | 7.0000 | ADENDO REBAIXADO DA COROA EM MM |
| FMEN = | 9.3969 | MODULO NA LINHA DE ENGRENAMENTO NA SECCAO NORMAL EM MM |
| FME = | 9.3969 | MODULO NA LINHA DE ENGRENAMENTO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DB1N = | 220.0000 | DIAMETRO PRIMITIVO DO PINHAO NA SECCAO NORMAL EM MM |
| DB2N = | 650.0001 | DIAMETRO PRIMITIVO DA COROA NA SECCAO NORMAL EM MM |
| Z1N = | 22.0000 | NUMERO DE DENTES DO PINHAO EQUIVALENTENA SECCAO NORMAL |
| Z2N = | 65.0000 | NUMERO DE DENTES DA COROA EQUIVALENTE NA SECCAO NORMAL |
| HF1 = | 9.5000 | DEDENDO DO PINHAO EM MM |
| HF2 = | 15.5000 | DEDENDO DA COROA EM MM |
| ALK1G= | 32.8202 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA EXTERNA DO PINHAO EM GRAU |
| US | | |
| ALK2G= | 23.0915 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA EXTERNA DA COROA EM GRAU |
| S | | |
| ALFBG= | 20.000000 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO NA SECCAO FR |
| ONTAL EM GRAUS | | |
| BMIN = | 205.0000 | LARGURA DAS ENGRENAGENS EM MM |
| E1 = | 0.9838 | GRAU DE RECOBRIMENTO DO PINHAO |
| E2 = | 0.6454 | GRAU DE RECOBRIMENTO DA COROA |
| U = | 3945.2727 | FORCA TANGENCIAL DE ENGRENAMENTO EM KGF |
| ROT1 = | 71.3400 | ROTACAO DO PINHAO EM RPM |
| ROT2 = | 24.1458 | ROTACAO DA COROA EM RPM |
| VELOC= | 0.8218 | VELOCIDADE TANGENCIAL EM M/SEG |
| BMRI = | 0.0875 | PRESSAO ESPECIFICA NO FLANCO DO DENTE EM KGF/MM**2 |
| E = | 1.6293 | GRAU DE RECOBRIMENTO TOTAL |
| UMIN = | 19.2453 | CARGA POR UNIDADE DE LARGURA NO DENTE EM KGF/MM |
| EN = | 1.6293 | GRAU DE RECOBRIMENTO TOTAL NA SECCAO NORMAL |
| GE = | 4.0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE PASSO DA ENGRENAGEM |
| GR = | 2.0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE DIRECAO DOS FLANCOS DOS DENTES |
| GK = | 0.0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE DIRECAO DOS FLANCOS DOS DENTES DEPOIS DE RODADO SOB CARGA |
| FR = | 28.6356 | ERRO DE DIRECAO DOS FLANCOS DOS DENTES EM MICRONS |
| FE = | 44.3961 | ERRO DE PASSO DA ENGRENAGEM EM MICRONS |
| FRW = | 21.4767 | ERRO DE DIRECAO DOS FLANCOS DOS DENTES DEPOIS DE RODADO SOB CARGA EM MICRONS |
| F = | 44.3961 | MAIOR VALOR DENTRE OS ERROS EM MICRONS |
| EN = | 1.3691 | GRAU DE RECOBRIMENTO EFICAZ |
| QE1 = | 0.5889 | COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO DENTE DO PINHAO |
| QE2 = | 0.7914 | COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO DENTE DA COROA |
| YE = | 0.8640 | COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS DOS DENTES |
| OK1 = | 2.2785 | FATOR DE FORMA DO PINHAO PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO DENTE |
| OK2 = | 2.4852 | FATOR DE FORMA DA COROA PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO DENTE |

QW1 = 1.5719 COEFICIENTE DO PINHAO PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO D
 ENTE
 QW2 = 1.9691 COEFICIENTE DA COROA PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO DE
 NTE
 UDMN = 0.7431 FORCA TANGENCIAL DINAMICA POR MM DE LARGURA DO DENTE EM KGF/
 MM
 ESP = 0.0000 GRAU DE RECOBRIMENTO DE SALTO
 CD = 1.0314 COEFICIENTE DINAMICO DE INFLUENCIA DE CARGA
 CZ = 1.0000 CONSTANTE DE ELASTICIDADE DO DENTE KGF/(MM*MICRON)
 CT = 1.2199 COEFICIENTE DE REPARTICAO DE CARGA
 CBETA= 1.0000 COEFICIENTE DE INFLUENCIA DE CARGA COMRELACAO AO ANGULO DE H
 ELICE
 BW = 0.1354 VALOR DE CARGA EFICAZ EM KGF/MM**2
 FK01 = 4.3000 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA DO FLANCO DO DENTE
 DO PINHAO EM KGF/MM**2
 FK02 = 0.2100 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO FLANCO DO DENTE
 DA COROA EM KGF/MM**2
 SIG01= 31.5000 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE DO
 PINHAO EM KGF/MM**2
 SIG02= 15.0000 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE DA
 COROA EM KGF/MM**2
 SIGD1= 31.5000 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE DO PINHAO
 EM KGF/MM**2
 SIGD2= 15.0000 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE DA COROA
 EM KGF/MM**2
 SB1 = 6.7281 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DO PINHAO COM RELAC
 AO A RUPTURA
 SB2 = 2.5576 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DA COROA COM RELACA
 O A RUPTURA
 VBETA= 1.0000 COEFICIENTE PARA CALCULO DE PRESSAO NOS FLANCOS COM RELACAO
 AO ANGULO DE HELICE
 VC = 3.1114 COEFICIENTE PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS COM RELACAO
 AO ANGULO DE PRESSAO
 VV = 0.7863 COEFICIENTE PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS COM RELACAO
 A VELOCIDADE TANGENCIAL
 VM1 = 3.5010 COEFICIENTE GERAL PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS DO DEN
 TE DO PINHAO
 VM2 = 3.1114 COEFICIENTE GERAL PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS DOS DE
 NTES DA COROA
 VS = 1.1451 FATOR DE VISCOSIDADE NA TEMPERATURA DESERVICO
 VISCO= 169.8273 VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE NA TEMPERATURA DE SERVICO EM CEN
 TSTOKES
 FMTE= 54.5000 MOMENTO DE TORSAO DEVIDO A CARGA DE CORROSAO M*KGF
 V50 = 130.1655 VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE A 50 GRAUSCELSIUS EM CENTSTOKES
 YG1 = 1.0000 COEFICIENTE PARA CALCULO DA RESISTENCIA DO MATERIAL DO PINHA
 O CONTRA A CRATERIZACAO
 YG2 = 1.0000 COEFICIENTE PARA CALCULO DA RESISTENCIA DO MATERIAL DA COROA
 CONTRA A CRATERIZACAO
 YH1 = 0.3450 FATOR DE DUREZA NA SUPERFICIE DO DENTEDO PINHAO
 YH2 = 1.0000 FATOR DE DUREZA NA SUPERFICIE DO DENTEDA COROA
 FKD1 = 1.2034 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NOFLANCO DO DENTE DO PIN
 HAO EM KGF/MM**2
 FKD2 = 0.1598 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NOFLANCO DO DENTE DA COR
 OA EM KGF/MM**2
 SG1 = 1.8442 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DO PINHAO COM RELAC
 AO A CRATERIZACAO
 SG2 = 0.3012 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DA COROA COM RELACA
 O A CRATERIZACAO

| | | |
|--------|------------|---|
| FLHG1= | INFINITA | VIDA DO PINHAO COM RELACAO A CRATERIZACAO |
| FLHG2= | 0.1066E+03 | VIDA DA COROA LIMITADA PELA CRATERIZACAO EM HORAS |
| FLHB1= | INFINITA | VIDA DO PINHAO COM RELACAO A RUPTURA |
| FLHB2= | INFINITA | VIDA DA COROA COM RELACAO A RUPTURA |
| FLH1 = | INFINITA | VIDA DO PINHAO |
| FLH2 = | 0.1066E+03 | VIDA DA COROA EM HORAS |
| FFLH = | 0.1066E+03 | VIDA DO PAR DE ENGRENAGENS EM HORAS |
| WP1 = | 249.4277 | DISTANCIA SOBRE PINOS OU BOLAS DO PINHAO EM MM |
| R1 = | 8.7500 | RAIO DO PINO OU BOLA PARA MEDIDA DO WP1 EM MM |
| WP2 = | 669.2962 | DISTANCIA SOBRE PINOS OU BOLAS DA COROA EM MM |
| R2 = | 8.7500 | RAIO DO PINO OU BOLA PARA MEDIDA DO WP2 EM MM |
| WD1 = | 78.9366 | DISTANCIA SOBRE DENTES DO PINHAO EM MM |
| NWD1 = | 3 | NUMERO DE DENTES PARA MEDIDA DO WD1 |
| WD2 = | 228.4613 | DISTANCIA SOBRE DENTES DA COROA EM MM |
| NWD2 = | 8 | NUMERO DE DENTES PARA MEDIDA DO WD2 |

De acordo com os *RESULTADOS CALCULADOS PELO PROGRAMA*, embora o pinhão e a coroa estejam bem dimensionados com relação a *RUPTURA* (FLHB1 = FLHB2 = vida infinita), quanto a *CRATERIZAÇÃO*, apenas o pinhão apresenta vida (FLHG1) infinita. A vida da coroa (FLHG2) e consequentemente do par (FFLH) está limitada em 106,6 horas.

Assim, a solução encontrada foi fazer a coroa, que era de *AÇO FUNDIDO* apenas, com um tratamento térmico, ou seja, *TEMPERA SUPERFICIAL* com dureza 330 BRINELL.

Tendo-se adotado, então, coroa de *AÇO FUNDIDO, TEMPERADA SUPERFICIALMENTE* com dureza 330 BRINELL, os resultados para o par motor nº 4 foram:

PROJETO DE ENGRENAGENS SEGUNDO METODO NIEMANN

DADOS FORNECIDOS PELO USUARIO

| | | |
|--------|------------|---|
| FMN= | 10.0000 | MODULO NA SECCAO NORMAL AO DENTE EM MM |
| TAU = | 2.9500 | RELACAO DE TRANSMISSAO I22/I21 |
| ROTH = | 71.3400 | ROTACAO DA ENGRENAGEM MOTORA EM RPM |
| BET00= | 0.0000 | ANGULO DE HELICE NA CIRC. PRIMITIVA EM GRAUS |
| AL00G= | 20.0000 | ANGULO DE PRESSAO NA SECCAO NORMAL NA CIRCUNFERENCIA PRIMITIVA EM GRAUS |
| A = | 435.0000 | DISTANCIA ENTRE EIXOS EM MM |
| MEN1 = | FIXA | DISTANCIA ENTRE EIXOS E FIXA |
| X1 = | 0.30000000 | CORRECAO NO PERFIL DO PINHAO |
| MEN2 = | C | ENGRENAGENS USINADAS COM PRECISAO E BEM APOIADAS EM CRIXAS D E ENGRENAGENS |
| B1 = | 205.0000 | LARGURA DO DENTE EM MM |
| TOR0 = | 433.9800 | MOMENTO TORSOR NA ENGRENAGEM MOTORA EMN*KGF |
| MOT = | 1 | INDICE DA ENGRENAGEM MOTORA |
| MEN5 = | 0 | CARGA NUM SO SENTIDO |
| MEN3 = | 9 | QUALIDADE DIN 3962 |
| MEN4 = | BIAPOIADA | INFORMACAO SOBRE O PINHAO |
| CS = | 1.2300 | COEFICIENTE DE IMPACTO, RAZAO ENTRE O MOMENTO MAXIMO EXTERNO E O MOMENTO NOMINAL |
| MAT1 = | 22 | MATERIAL DO PINHAO CONFORME NORMA DIN = CK 45 ACO TEMPERADO EM FORNO OU POR INDUCAO |
| MAT2 = | 5 | MATERIAL DA COROA CONFORME NORMA DIN = GS 52 ACO FUNDIDO ENGRENAGEM USADA EM AUTOVEICULOS E INDUSTRIA |
| MEN6 = | 0 | ENGRENAGEM USADA EM AUTOVEICULOS E INDUSTRIA |
| LUBR1= | 16 | LUBRIFICANTE UTILIZADO OLEO ESSO TERESSO TIPO 100 SAE 90 |
| TEMP= | 45.0000 | TEMP DE SERVICO EM GRAUS CELSIOS |
| H1 = | 350.0000 | DUREZA BRINELL DO PINHAO |
| H2 = | 330.0000 | DUREZA BRINELL DA COROA |
| MEN7 = | 1 | SAIRO IMPRESSAS TODAS AS VARIAVEIS CALCULADAS |

RESULTADOS CALCULADOS PELO PROGRAMA

| | | |
|--------|-------------|---|
| FMN= | 10.0000 | MODULO NA SECCAO NORMAL AO DENTE EM MM |
| I21 = | 22 | NUMERO DE DENTES DO PINHAO |
| I22 = | 65 | NUMERO DE DENTES DA COROA |
| TAU0 = | 2.9545 | RELACAO EFETIVA DE TRANSMISSAO I22/I21 |
| A0 = | 435.0000 | DISTANCIA ENTRE EIXOS EFETIVA EM MM |
| FMF = | 10.0000 | MODULO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| AL00G= | 20.0000 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO NA SECCAO NORMAL EM GRAUS |
| X1 = | 0.30000000 | CORRECAO NO PERFIL DO DENTE DO PINHAO |
| X2 = | -0.30000012 | CORRECAO NO PERFIL DO DENTE DA COROA |
| AL00 = | 20.0000 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA PRIMITIVA EM GRAUS |
| BET00= | 0.0000 | ANGULO DE HELICE NA CIRCUNFERENCIA DE BASE EM GRAUS |
| DEL = | 220.0000 | DIAMETRO DE TRABALHO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |

| | | |
|--|-----------|--|
| DB2 = | 650.0000 | DIAMETRO DE TRABALHO DA COROA SECCAO FRONTAL EM MM |
| D01 = | 220.0000 | DIAMETRO PRIMITIVO DO PINHAO NA SECCAOFRONTAL EM MM |
| D02 = | 650.0001 | DIAMETRO PRIMITIVO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DG1 = | 206.7324 | DIAMETRO DE BASE DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DG2 = | 610.0003 | DIAMETRO DE BASE DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DB1N = | 220.0000 | DIAMETRO DE TRABALHO DO PINHAO SECCAO NORMAL EM MM |
| DB2N = | 650.0000 | DIAMETRO DE TRABALHO DA COROA NA SECCAO NORMAL EM MM |
| BETBG= | 0.0000 | ANGULO DE HELICE NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO EM GRAUS |
| DF1 = | 201.0000 | DIAMETRO DE FUNDO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DF2 = | 619.0000 | DIAMETRO DE FUNDO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK1 = | 246.0000 | DIAMETRO EXTERNO DO PINHAO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK2 = | 664.0000 | DIAMETRO EXTERNO DA COROA NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK1R = | 246.0000 | DIAMETRO EXTERNO REBAIXADO DO PINHAO SECCAO FRONTAL EM MM |
| DK2R = | 664.0000 | DIAMETRO EXTERNO REBAIXADO DA COROA SECCAO FRONTAL EM MM |
| HK1 = | 13.0000 | ADENDO DO PINHAO EM MM |
| HK2 = | 7.0000 | ADENDO DA COROA EM MM |
| HK1R = | 13.0000 | ADENDO REBAIXADO DO PINHAO EM MM |
| HK2R = | 7.0000 | ADENDO REBAIXADO DA COROA EM MM |
| FMEN = | 9.3969 | MODULO NA LINHA DE ENGRENAMENTO NA SECCAO NORMAL EM MM |
| FME = | 9.3969 | MODULO NA LINHA DE ENGRENAMENTO NA SECCAO FRONTAL EM MM |
| D01N = | 220.0000 | DIAMETRO PRIMITIVO DO PINHAO NA SECCAO NORMAL EM MM |
| D02N = | 650.0001 | DIAMETRO PRIMITIVO DA COROA NA SECCAO NORMAL EM MM |
| Z1N = | 22.0000 | NUMERO DE DENTES DO PINHAO EQUIVALENTENA SECCAO NORMAL |
| Z2N = | 65.0000 | NUMERO DE DENTES DA COROA EQUIVALENTE NA SECCAO NORMAL |
| HF1 = | 9.5000 | DEDENDO DO PINHAO EM MM |
| HF2 = | 15.5000 | DEDENDO DA COROA EM MM |
| ALK1G= | 32.8202 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA EXTERNA DO PINHAO EM GRA |
| US | | |
| ALK2G= | 23.0915 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA EXTERNA DA COROA EM GRAU |
| S | | |
| ALFBG= | 20.0000 | ANGULO DE PRESSAO NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO NA SECCAO FR |
| ONTAL EM GRAUS | | |
| BMIN = | 205.0000 | LARGURA DAS ENGRENAGENS EM MM |
| E1 = | 0.9839 | GRAU DE RECOBRIMENTO DO PINHAO |
| E2 = | 0.6454 | GRAU DE RECOBRIMENTO DA COROA |
| U = | 3945.2727 | FORÇA TANGENCIAL DE ENGRENAMENTO EM KGF |
| ROT1 = | 71.3400 | ROTACAO DO PINHAO EM RPM |
| ROT2 = | 24.1458 | ROTACAO DA COROA EM RPM |
| VELOC= | 0.0219 | VELOCIDADE TANGENCIAL EM M/SEG |
| BMAI = | 0.0875 | PRESSAO ESPECIFICA NO FLANCO DO DENTE EM KGF/MM**2 |
| E = | 1.6293 | GRAU DE RECOBRIMENTO TOTAL |
| UMIN = | 19.2453 | CARGA POR UNIDADE DE LARGURA NO DENTE EM KGF/MM |
| EN = | 1.6293 | GRAU DE RECOBRIMENTO TOTAL NA SECCAO NORMAL |
| GE = | 4.0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE PASSO DA ENGRENAGEM |
| GR = | 2.0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE DIRECAO DOS FLANCOS DOS |
| DENTES | | |
| GK = | 0.0000 | COEFICIENTE PARA CALCULO DO ERRO DE DIRECAO DOS FLANCOS DOS |
| DENTES DEPOIS DE RODADO SOB CARGA | | |
| FR = | 28.5356 | ERRO DE DIRECAO DOS FLANCOS DOS DENTESSEM MICRONS |
| FE = | 44.3961 | ERRO DE PASSO DA ENGRENAGEM EM MICRONS |
| FRW = | 21.4767 | ERRO DE DIRECAO DOS FLANCOS DOS DENTESDEPOIS DE RODADO SOB C |
| ARGA EM MICRONS | | |
| F = | 44.3961 | MAIOR VALOR DENTRE OS ERROS EM MICRONS |
| EN = | 1.3691 | GRAU DE RECOBRIMENTO EFICAZ |
| QE1 = | 0.6899 | COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA CALCULO D |
| A SOLICITACAO NO PE DO DENTE DO PINHAO | | |
| QE2 = | 0.7914 | COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA CALCULO D |
| A SOLICITACAO NO PE DO DENTE DA COROA | | |
| YE = | 0.8640 | COEFICIENTE REFERENTE AO GRAU DE RECOBRIMENTO PARA CALCULO D |
| A PRESSAO NOS FLANCOS DOS DENTES | | |
| QK1 = | 2.2785 | FATOR DE FORMA DO PINHAO PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE D |
| O DENTE | | |
| QK2 = | 2.4882 | FATOR DE FORMA DA COROA PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO |
| DENTE | | |

QW1 = 1.5719 COEFICIENTE DO PINHAO PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO D
ENTE
QW2 = 1.9691 COEFICIENTE DA COROA PARA CALCULO DA SOLICITACAO NO PE DO DE
NTE
UDYN = 0.7431 FORCA TANGENCIAL DINAMICA POR MM DE LARGURA DO DENTE EM KGF/
MM
ESP = 0.0000 GRAU DE RECOBRIMENTO DE SALTO
CD = 1.0314 COEFICIENTE DINAMICO DE INFLUENCIA DE CARGA
CZ = 1.0000 CONSTANTE DE ELASTICIDADE DO DENTE KGF/(MM*MICRON)
CT = 1.2199 COEFICIENTE DE REPARTICAO DE CARGA
CBETA= 1.0000 COEFICIENTE DE INFLUENCIA DE CARGA COMRELACAO AO ANGULO DE H
ELICE
BW = 0.1354 VALOR DE CARGA EFICAZ EM KGF/MM**2
FK01 = 4.3000 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA DO FLANCO DO DENTE
DO PINHAO EM KGF/MM**2
FK02 = 0.2100 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO FLANCO DO DENTE
DA COROA EM KGF/MM**2
SIG01= 31.5000 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE DO
PINHAO EM KGF/MM**2
SIG02= 15.0000 TENSAO ADMISSIVEL DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE DA
COROA EM KGF/MM**2
SIGD1= 31.5000 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE DO PINHAO
EM KGF/MM**2
SIGD2= 15.0000 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NO PE DO DENTE DA COROA
EM KGF/MM**2
SB1 = 6.7281 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DO PINHAO COM RELAC
AO A RUPTURA
SB2 = 2.5576 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DA COROA COM RELACA
O A RUPTURA
YBETA= 1.0000 COEFICIENTE PARA CALCULO DE PRESSAO NOS FLANCOS COM RELACAO
AO ANGULO DE HELICE
YC = 3.1114 COEFICIENTE PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS COM RELACAO
AO ANGULO DE PRESSAO
YV = 0.7063 COEFICIENTE PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS COM RELACAO
A VELOCIDADE TANGENCIAL
YW1 = 3.6010 COEFICIENTE GERAL PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS DO DEN
TE DO PINHAO
YW2 = 3.1114 COEFICIENTE GERAL PARA CALCULO DA PRESSAO NOS FLANCOS DOS DE
NTES DA COROA
YS = 1.1451 FATOR DE VISCOSIDADE NA TEMPERATURA DESERVICO
VISCO= 169.0273 VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE NA TEMPERATURA DE SERVICO EM CEN
TSTOKES
FMTE= 54.5000 MOMENTO DE TORSAO DEVIDO A CARGA DE CORROSAO M**KGF
V50 = 130.1665 VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE A 50 GRAUSCELSIUS EM CENTSTOKES
YG1 = 1.0000 COEFICIENTE PARA CALCULO DA RESISTENCIA DO MATERIAL DO PINHA
O CONTRA A CRATERIZACAO
YG2 = 1.0000 COEFICIENTE PARA CALCULO DA RESISTENCIA DO MATERIAL DA COROA
CONTRA A CRATERIZACAO
YH1 = 0.3450 FATOR DE DUREZA NA SUPERFICIE DO DENTEDO PINHAO
YH2 = 4.8400 FATOR DE DUREZA NA SUPERFICIE DO DENTEDA COROA
FKD1 = 1.2034 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NOFLANCO DO DENTE DO PIN
HAO EM KGF/MM**2
FKD2 = 0.8220 COEFICIENTE DE RESISTENCIA A FADIGA NOFLANCO DO DENTE DA COR
OA EM KGF/MM**2
SG1 = 1.8442 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DO PINHAO COM RELAC
AO A CRATERIZACAO
SG2 = 1.4380 COEFICIENTE DE VERIFICACAO DE CAPACIDADE DA COROA COM RELACA
O A CRATERIZACAO

| | | |
|--------|----------|--|
| FLHG1= | INFINITA | VIDA DO PINHAO COM RELACAO A CRATERIZACAO |
| FLHG2= | INFINITA | VIDA DA COROA COM RELACAO A CRATERIZACAO |
| FLHB1= | INFINITA | VIDA DO PINHAO COM RELACAO A RUPTURA |
| FLHB2= | INFINITA | VIDA DA COROA COM RELACAO A RUPTURA |
| FLH1 = | INFINITA | VIDA DO PINHAO |
| FLH2 = | INFINITA | VIDA DA COROA |
| FFLH = | INFINITA | VIDA DO PAR DE ENGRENAGENS |
| WP1 = | 249.4277 | DISTANCIA SOBRE PINOS OU BOLAS DO PINHAO EM MM |
| R1 = | 8.7500 | RAIO DO PINO OU BOLA PARA MEDIDA DO WP1 EM MM |
| WP2 = | 659.2962 | DISTANCIA SOBRE PINOS OU BOLAS DA COROA EM MM |
| R2 = | 8.7500 | RAIO DO PINO OU BOLA PARA MEDIDA DO WP2 EM MM |
| WD1 = | 78.9366 | DISTANCIA SOBRE DENTES DO PINHAO EM MM |
| NWD1 = | 3 | NUMERO DE DENTES PARA MEDIDA DO WD1 |
| WD2 = | 228.4613 | DISTANCIA SOBRE DENTES DA COROA EM MM |
| NWD2 = | 8 | NUMERO DE DENTES PARA MEDIDA DO WD2 |

De acordo com os *RESULTADOS CALCULADOS PELO PROGRAMA*, tanto o pinhão como a coroa estão bem dimensionados com relação a *RUPTURA* (FLHB1 = FLHB2 = vida infinita) e quanto a *CRATERIZAÇÃO* (FLHG1 = FLHG2 = vida infinita).

6.4. ROLAMENTOS

Para a verificação dos *ROLAMENTOS* A e B do eixo intermediário (figura 6.5), calcularam-se, inicialmente, os esforços atuantes em cada engrenagem deste eixo a partir dos momentos torçores $(M_{III2})_i$, $(M_{III3})_i$ e $(M_{III4})_i$, fornecidos na TABELA VI.2, e dos parâmetros geométricos de cada par motor calculados pelo *PROGRAMA ENGRO* (item 6.3.).

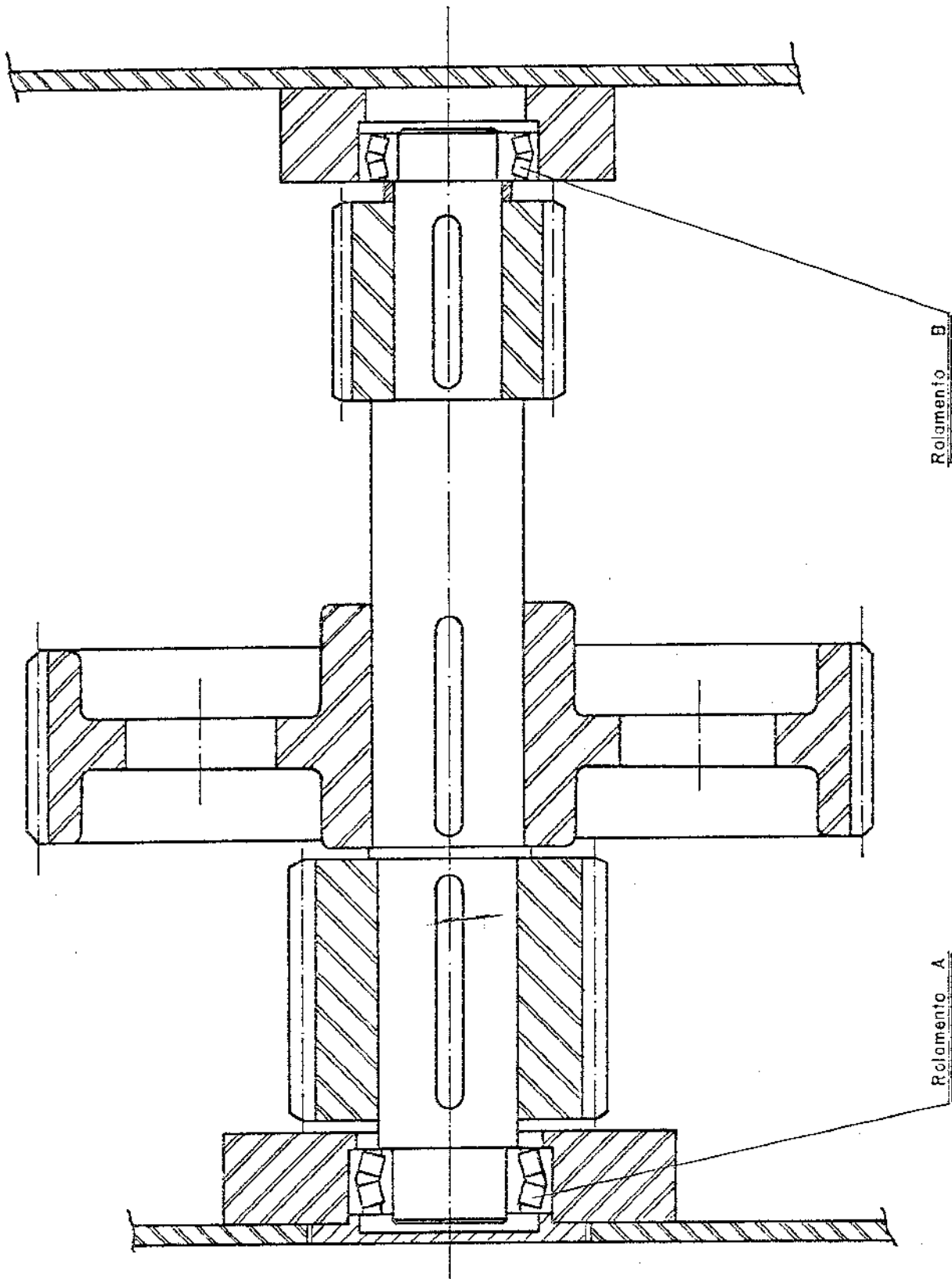


Fig. 6.5. - Eixo intermediário e os rolamentos A e B.

A figura 6.6 representa esquematicamente o eixo intermediário, seus mancais A e B, e as engrenagens com seus respectivos esforços.

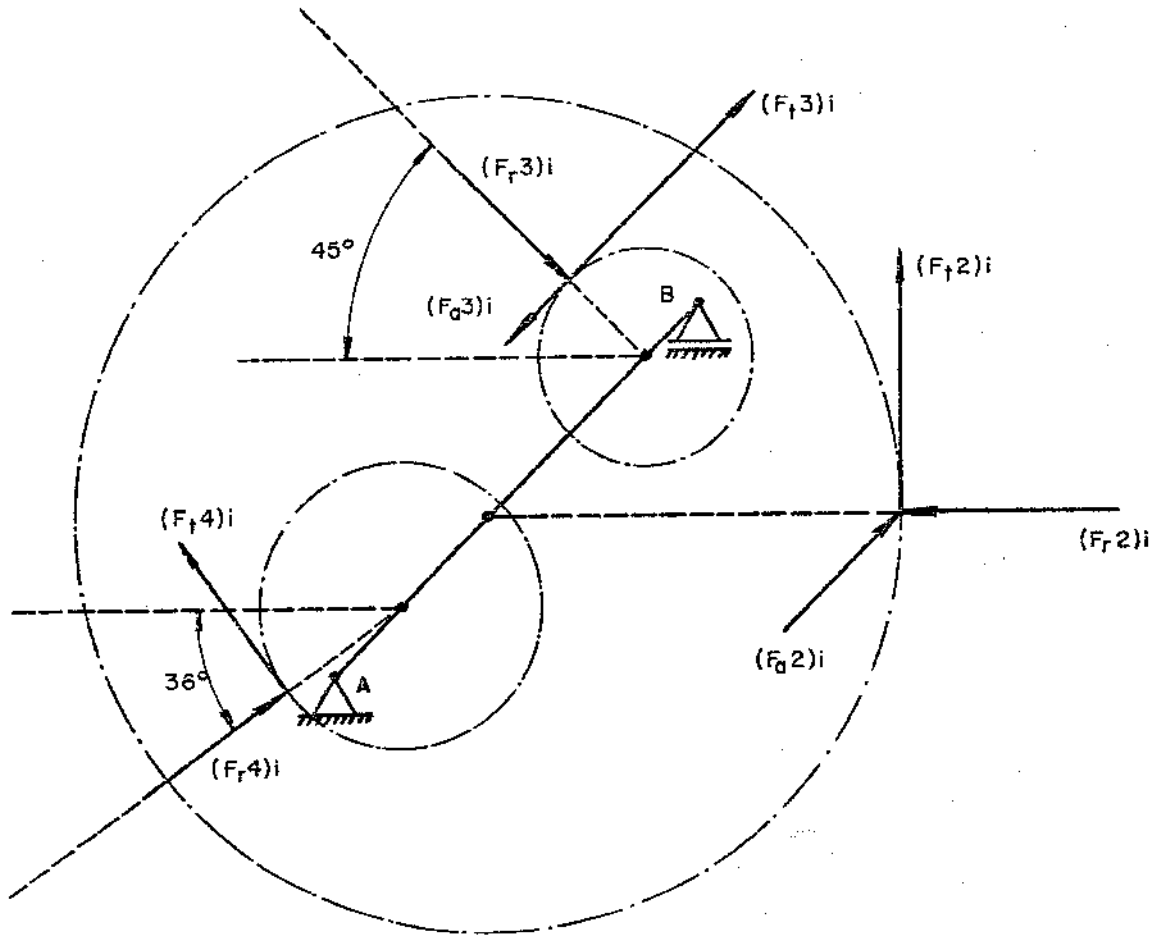


Fig. 6.6. - Representação esquemática do eixo intermediário, dos mancais A e B, e das engrenagens com seus respectivos esforços.

Assim, os esforços atuantes na coroa do par motor nº 2 serão dados por [22]:

$$\text{FORÇA TANGENCIAL} = (F_{t2})_i = \frac{2(M_{III2})_i}{db_2}$$

$$\text{FORÇA RADIAL} = (F_{r2})_i = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha_b}{d_{b2}} (M_{III2})_i$$

$$\text{FORÇA AXIAL} = (F_{a2})_i = \frac{2 \operatorname{tg} \beta_b}{d_{b2}} (M_{III2})_i$$

onde,

d_{b2} = DIÂMETRO DE TRABALHO DA COROA NA SECÇÃO FRONTAL = 64,598cm

α_b = ÂNGULO DE PRESSÃO NA CIRCUNFERÊNCIA DE TRABALHO NA SECÇÃO FRONTAL = 20,64°.

β_b = ÂNGULO DE HÉLICE NA CIRCUNFERENCIA DE TRABALHO = 14,9994°

A TABELA VI.3 fornece os esforços atuantes na coroa do par motor nº 2 e suas frequências de atuação, correspondentes.

TABELA VI.3 - ESFORÇOS ATUANTES NA COROA DO PAR MOTOR Nº 2 E SUAS RESPECTIVAS FREQUÊNCIAS DE ATUAÇÃO

| $(M_{III2})_i$ [Kgf.cm] | FORÇA TAN- GENCIAL $(F_{t2})_i$ [kgf] | FORÇA RA- DIAL $(F_{r2})_i$ [kgf] | FORÇA A- XIAL $(F_{a2})_i$ [kgf] | FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO fi |
|----------------------------|---|---|--|--------------------------------|
| 41310 | 1279,0 | 481,8 | 342,7 | 0,0357 |
| 45156 | 1398,1 | 526,6 | 374,6 | 0,0357 |
| 47220 | 1462,0 | 550,7 | 391,7 | 0,0357 |
| 48719 | 1508,4 | 568,2 | 404,2 | 0,0357 |
| 50414 | 1560,9 | 587,9 | 418,2 | 0,0714 |
| 52262 | 1618,1 | 609,5 | 433,5 | 0,0714 |
| 54890 | 1699,4 | 640,1 | 455,3 | 0,1785 |
| 57583 | 1782,8 | 671,5 | 477,7 | 0,0357 |
| 61754 | 1911,9 | 720,2 | 512,3 | 0,0714 |
| 70899 | 2195,1 | 826,8 | 588,1 | 0,0357 |
| 72376 | 2240,8 | 844,1 | 600,4 | 0,1428 |
| 76437 | 2366,5 | 891,4 | 634,1 | 0,0357 |
| 77913 | 2412,2 | 908,6 | 646,3 | 0,0357 |
| 79412 | 2458,7 | 926,1 | 658,8 | 0,0714 |
| 88271 | 2732,9 | 1029,4 | 732,3 | 0,0357 |
| 90877 | 2813,6 | 1059,8 | 753,9 | 0,0714 |

Os esforços atuantes no pinhão do par motor nº 3 serão dados por:

$$\text{FORÇA TANGENCIAL} = (F_{t3})_i = \frac{2(M_{III3})_i}{db_1}$$

$$\text{FORÇA RADIAL} = (F_{r3})_i = \frac{2\text{tg}\alpha_b}{db_1} (M_{III3})_i$$

$$\text{FORÇA AXIAL} = (F_{a3})_i = \frac{2\text{tg}\beta_b}{db_1} (M_{III3})_i$$

onde,

$$db_1 = \text{DIÂMETRO DE TRABALHO DO PINHÃO NA SECÇÃO FRONTAL} = 16,360 \text{ cm}$$

$$\alpha_b = \text{ÂNGULO DE PRESSÃO NA CIRCUNFERÊNCIA DE TRABALHO NA SECÇÃO FRONTAL} = 21,3302^\circ.$$

$$\beta_b = \text{ÂNGULO DE HÉLICE NA CIRCUNFERÊNCIA DE TRABALHO} = 10,0682^\circ$$

A TABELA VI.4 fornece os esforços atuantes no pinhão do par motor nº 3 e suas frequências de atuação, correspondentes.

TABELA VI.4 - ESFORÇOS ATUANTES NO PINHÃO DO PAR MOTOR Nº 3 E SUAS RESPECTIVAS FREQUÊNCIAS DE ATUAÇÃO

| $(M_{III3})_i$ [kgf.cm] | FORÇA TAN- GENCIAL $(F_{t3})_i$ [kgf] | FORÇA RA- DIAL $(F_{r3})_i$ [kgf] | FORÇA A- XIAL $(F_{a3})_i$ [kgf] | FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO f_i |
|----------------------------|---|---|--|-----------------------------------|
| 12264 | 1499,3 | 585,5 | 266,2 | 0,0357 |
| 13288 | 1624,4 | 634,3 | 288,4 | 0,0357 |
| 13902 | 1699,5 | 663,6 | 301,8 | 0,0357 |
| 14376 | 1757,5 | 686,3 | 312,0 | 0,0357 |
| 14941 | 1826,5 | 713,2 | 324,3 | 0,0714 |
| 15591 | 1906,0 | 744,3 | 338,4 | 0,0714 |
| 16577 | 2026,5 | 791,3 | 359,8 | 0,1785 |
| 17664 | 2159,4 | 843,2 | 383,4 | 0,0357 |
| 19498 | 2383,6 | 930,8 | 423,2 | 0,0714 |
| 24162 | 2953,8 | 1153,4 | 524,5 | 0,0357 |
| 24998 | 3056,0 | 1193,3 | 542,6 | 0,1428 |
| 27416 | 3351,6 | 1308,8 | 595,1 | 0,0357 |
| 28338 | 3464,3 | 1352,8 | 615,1 | 0,0357 |
| 29298 | 3581,7 | 1398,6 | 635,9 | 0,0714 |
| 35456 | 4334,5 | 1692,6 | 769,6 | 0,0357 |
| 37425 | 4575,2 | 1786,6 | 812,3 | 0,0714 |

Os esforços atuantes no pinhão do par motor nº 4 serão dados por:

$$\text{FORÇA TANGENCIAL} = (F_{t4})_i = \frac{2(M_{III4})_i}{db_1}$$

$$\text{FORÇA RADIAL} = (F_{r4})_i = \frac{2tg\alpha_b}{db_1} (M_{III4})_i$$

onde,

db_1 = DIÂMETRO DE TRABALHO DO PINHÃO NA SECÇÃO FRONTAL = 22,000 cm

α_b = ÂNGULO DE PRESSÃO NA CIRCUNFERÊNCIA DE TRABALHO NA SECÇÃO FRONTAL = 20°

A TABELA VI.5 fornece os esforços atuantes no pinhão do par motor nº 4 e suas frequências de atuação, correspondentes.

TABELA VI.5 - ESFORÇOS ATUANTES NO PINHÃO DO PAR MOTOR Nº 4 E SUAS RESPECTIVAS FREQUÊNCIAS DE ATUAÇÃO

| $(M_{III4})_i$ [kgf.cm] | FORÇA TANGENCIAL $(F_{t4})_i$ [kgf] | FORÇA RADIAL $(F_{r4})_i$ [kgf] | FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO f_i |
|----------------------------|--|------------------------------------|--------------------------------|
| 29046 | 2640,5 | 961,1 | 0,0357 |
| 31868 | 2897,1 | 1054,5 | 0,0357 |
| 33318 | 3028,9 | 1102,4 | 0,0357 |
| 34343 | 3122,1 | 1136,3 | 0,0357 |
| 35473 | 3224,8 | 1173,7 | 0,0714 |
| 36671 | 3333,7 | 1213,4 | 0,0714 |
| 38313 | 3483,0 | 1267,7 | 0,1785 |
| 39919 | 3629,0 | 1320,8 | 0,0357 |
| 42256 | 3841,5 | 1398,2 | 0,0714 |
| 46737 | 4248,8 | 1546,4 | 0,0357 |
| 47378 | 4307,1 | 1567,7 | 0,1428 |
| 49021 | 4456,5 | 1622,0 | 0,0357 |
| 49575 | 4506,8 | 1640,3 | 0,0357 |
| 50114 | 4555,8 | 1658,2 | 0,0714 |
| 52815 | 4801,4 | 1747,6 | 0,0357 |
| 53452 | 4859,3 | 1768,6 | 0,0714 |

As reações dos mancais A e B foram calculadas com o auxílio do PROGRAMA COMPUTACIONAL STRESS (*Structural Engineering System Solver*), desenvolvido pela IBM [23]:

Para tanto, procedeu-se a discretização do eixo intermediário em

4 elementos e 5 nós e determinaram-se, para cada nó, os esforços segundo o sistema de referência global (X, Y, Z) associado ao eixo (figura 6.7).

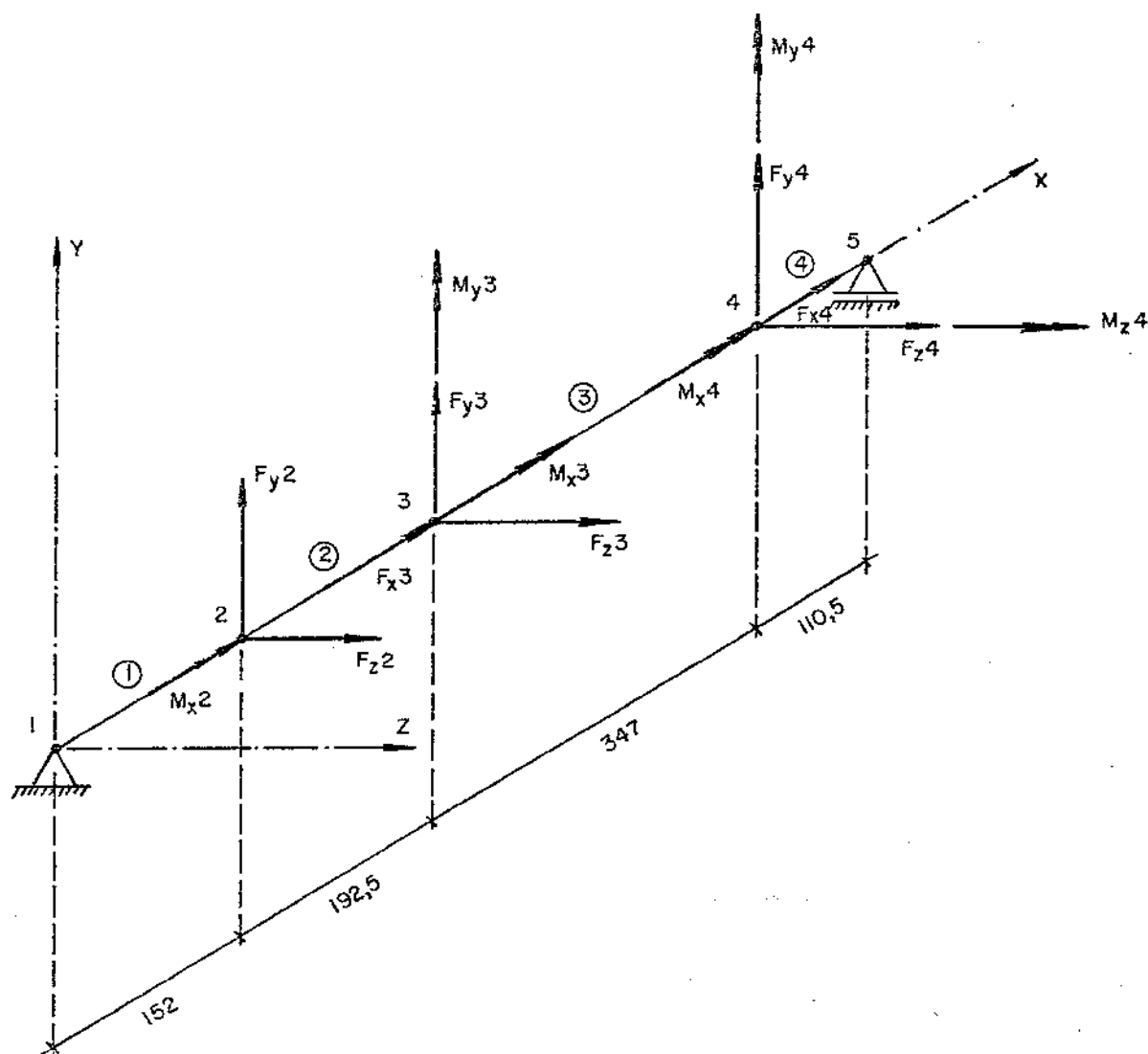


Fig. 6.7. - Representação dos esforços atuantes em cada nó segundo o sistema de referência global (X, Y, Z) associado ao eixo intermediário.

Assim, os esforços atuantes no nó 2 segundo o sistema de referência global serão dados por:

$$\text{FORÇAS} \begin{cases} F_{x_2} = 0 \\ F_{y_2} = (F_{t4})_i \operatorname{sen} 54^\circ + (F_{r4})_i \operatorname{sen} 36^\circ \\ F_{z_2} = (F_{r4})_i \operatorname{cos} 36^\circ - (F_{t4})_i \operatorname{cos} 54^\circ \end{cases} \quad \text{MOMENTOS} \begin{cases} M_{x_2} = (M_{III4})_i \\ M_{y_2} = 0 \\ M_{z_2} = 0 \end{cases}$$

Os esforços atuantes no nó 3 segundo o sistema de referência global serão dados por:

$$\text{FORÇAS} \begin{cases} F_{x3} = (F_{a2})_i \\ F_{y3} = (F_{t2})_i \\ F_{z3} = -(F_{r2})_i \end{cases} \quad \text{MOMENTOS} \begin{cases} M_{x3} = - (M_{III2})_i \\ M_{y3} = (M_{III2})_i \operatorname{tg} 14,9994^\circ \\ M_{z3} = 0 \end{cases}$$

Os esforços atuantes no nó 4 segundo o sistema de referência global serão dados por:

$$\text{FORÇAS} \begin{cases} F_{x4} = -(F_{a3})_i \\ F_{y4} = (F_{t3})_i \cos 45^\circ - (F_{r3})_i \cos 45^\circ \\ F_{z4} = (F_{t3})_i \cos 45^\circ + (F_{r3})_i \cos 45^\circ \end{cases}$$

$$\text{MOMENTOS} \begin{cases} M_{x4} = (M_{III3})_i \\ M_{y4} = (M_{III3})_i \cos 45^\circ \operatorname{tg} 10,0682^\circ \\ M_{z4} = (M_{III3})_i \cos 45^\circ \operatorname{tg} 10,0682^\circ \end{cases}$$

As TABELAS, a seguir, apresentam os esforços atuantes em cada nó, para cada *CARREGAMENTO* e a sua frequência de atuação.

| CARREGAMENTO 1: FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO = 0,0357 | | | | | |
|--|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| ESFORÇOS NO NÓ 2 | | ESFORÇOS NO NÓ 3 | | ESFORÇOS NO NÓ 4 | |
| [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] |
| $F_{x2} = 0$ | $M_{x2} = 29046$ | $F_{x3} = 342,7$ | $M_{x3} = -41310$ | $F_{x4} = -266,2$ | $M_{x4} = 12264$ |
| $F_{y2} = 2701,1$ | $M_{y2} = 0$ | $F_{y3} = 1279,0$ | $M_{y3} = 11068$ | $F_{y4} = 646,2$ | $M_{y4} = 1540$ |
| $F_{z2} = -774,5$ | $M_{z2} = 0$ | $F_{z3} = -481,8$ | $M_{z3} = 0$ | $F_{z4} = 1474,2$ | $M_{z4} = 1540$ |

| CARREGAMENTO 2: FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO = 0,0357 | | | | | |
|--|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| ESFORÇO NO NÓ 2 | | ESFORÇO NO NÓ 3 | | ESFORÇO NO NÓ 4 | |
| [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] |
| $F_{x2}=0$ | $M_{x2}=31868$ | $F_{x3}=374,6$ | $M_{x3}=-45156$ | $F_{x4}=-288,4$ | $M_{x4}=13288$ |
| $F_{y2}=2963,6$ | $M_{y2}=0$ | $F_{y3}=1398,1$ | $M_{y3}=12099$ | $F_{y4}=700,1$ | $M_{y4}=1668$ |
| $F_{z2}=-849,8$ | $M_{z2}=0$ | $F_{z3}=-526,6$ | $M_{z3}=0$ | $F_{z4}=1597,1$ | $M_{z4}=1663$ |

| CARREGAMENTO 3: FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO = 0,0357 | | | | | |
|--|----------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ESFORÇOS NO NÓ 2 | | ESFORÇOS NO NÓ 3 | | ESFORÇOS NO NÓ 4 | |
| [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] |
| $F_{x2}=0$ | $M_{x2}=33318$ | $F_{x3}=391,7$ | $M_{x3}=-47220$ | $F_{x4}=-301,8$ | $M_{x4}=13902$ |
| $F_{y2}=3098,4$ | $M_{y2}=0$ | $F_{y3}=1462,0$ | $M_{y3}=12652$ | $F_{y4}=732,5$ | $M_{y4}=1745$ |
| $F_{z2}=-888,5$ | $M_{z2}=0$ | $F_{z3}=-550,7$ | $M_{z3}=0$ | $F_{z4}=1671,0$ | $M_{z4}=1745$ |

| CARREGAMENTO 4: FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO = 0,0357 | | | | | |
|--|----------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ESFORÇOS NO NÓ 2 | | ESFORÇOS NO NÓ 3 | | ESFORÇOS NO NÓ 4 | |
| [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] |
| $F_{x2}=0$ | $M_{x2}=34343$ | $F_{x3}=404,2$ | $M_{x3}=-48719$ | $F_{x4}=-312,0$ | $M_{x4}=14376$ |
| $F_{y2}=3193,7$ | $M_{y2}=0$ | $F_{y3}=1508,4$ | $M_{y3}=13054$ | $F_{y4}=757,4$ | $M_{y4}=1805$ |
| $F_{z2}=-915,8$ | $M_{z2}=0$ | $F_{z3}=-568,2$ | $M_{z3}=0$ | $F_{z4}=1728,0$ | $M_{z4}=1805$ |

| CARREGAMENTO 5: FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO = 0,0714 | | | | | |
|--|----------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ESFORÇOS NO NÓ 2 | | ESFORÇOS NO NÓ 3 | | ESFORÇOS NO NÓ 4 | |
| [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] |
| $F_{x2}=0$ | $M_{x2}=35473$ | $F_{x3}=418,2$ | $M_{x3}=-50414$ | $F_{x4}=-324,3$ | $M_{x4}=14941$ |
| $F_{y2}=3298,8$ | $M_{y2}=0$ | $F_{y3}=1560,9$ | $M_{y3}=13508$ | $F_{y4}=787,2$ | $M_{y4}=1876$ |
| $F_{z2}=-945,9$ | $M_{z2}=0$ | $F_{z3}=-587,9$ | $M_{z3}=0$ | $F_{z4}=1795,8$ | $M_{z4}=1876$ |

| CARREGAMENTO 6: FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO = 0,0714 | | | | | |
|--|----------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ESFORÇOS NO NÓ 2 | | ESFORÇOS NO NÓ 3 | | ESFORÇOS NO NÓ 4 | |
| [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] |
| $F_{x2}=0$ | $M_{x2}=36671$ | $F_{x3}=433,5$ | $M_{x3}=-52262$ | $F_{x4}=-338,4$ | $M_{x4}=15591$ |
| $F_{y2}=3410,2$ | $M_{y2}=0$ | $F_{y3}=1618,1$ | $M_{y3}=14003$ | $F_{y4}=821,4$ | $M_{y4}=1957$ |
| $F_{z2}=-977,8$ | $M_{z2}=0$ | $F_{z3}=-609,5$ | $M_{z3}=0$ | $F_{z4}=1874,0$ | $M_{z4}=1957$ |

| CARREGAMENTO 7: FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO = 0,1785 | | | | | |
|--|----------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ESFORÇOS NO NÓ 2 | | ESFORÇOS NO NÓ 3 | | ESFORÇOS NO NÓ 4 | |
| [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] |
| $F_{x2}=0$ | $M_{x2}=38313$ | $F_{x3}=455,3$ | $M_{x3}=-54890$ | $F_{x4}=-359,8$ | $M_{x4}=16577$ |
| $F_{y2}=3562,9$ | $M_{y2}=0$ | $F_{y3}=1699,4$ | $M_{y3}=14707$ | $F_{y4}=873,4$ | $M_{y4}=2081$ |
| $F_{z2}=-1021,7$ | $M_{z2}=0$ | $F_{z3}=-640,1$ | $M_{z3}=0$ | $F_{z4}=1992,5$ | $M_{z4}=2081$ |

| CARREGAMENTO 8: FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO = 0,0357 | | | | | |
|--|----------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ESFORÇOS NO NÓ 2 | | ESFORÇOS NO NÓ 3 | | ESFORÇOS NO NÓ 4 | |
| [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] |
| $F_{x2}=0$ | $M_{x2}=39919$ | $F_{x3}=477,7$ | $M_{x3}=-57583$ | $F_{x4}=-383,4$ | $M_{x4}=17664$ |
| $F_{y2}=3712,3$ | $M_{y2}=0$ | $F_{y3}=1782,8$ | $M_{y3}=15429$ | $F_{y4}=930,7$ | $M_{y4}=2218$ |
| $F_{z2}=-1064,5$ | $M_{z2}=0$ | $F_{z3}=-671,5$ | $M_{z3}=0$ | $F_{z4}=2123,2$ | $M_{z4}=2218$ |

| CARREGAMENTO 9: FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO = 0,0714 | | | | | |
|--|----------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ESFORÇOS NO NÓ 2 | | ESFORÇOS NO NÓ 3 | | ESFORÇOS NO NÓ 4 | |
| [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] |
| $F_{x2}=0$ | $M_{x2}=42256$ | $F_{x3}=512,3$ | $M_{x3}=-61754$ | $F_{x4}=-423,2$ | $M_{x4}=19498$ |
| $F_{y2}=3929,7$ | $M_{y2}=0$ | $F_{y3}=1911,9$ | $M_{y3}=16546$ | $F_{y4}=1027,3$ | $M_{y4}=2448$ |
| $F_{z2}=-1126,8$ | $M_{z2}=0$ | $F_{z3}=-720,2$ | $M_{z3}=0$ | $F_{z4}=2343,6$ | $M_{z4}=2448$ |

| CARREGAMENTO 10: FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO = 0,0357 | | | | | |
|---|----------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ESFORÇOS NO NÓ 2 | | ESFORÇOS NO NÓ 3 | | ESFORÇOS NO NÓ 4 | |
| [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] |
| $F_{x2}=0$ | $M_{x2}=46737$ | $F_{x3}=588,1$ | $M_{x3}=-70899$ | $F_{x4}=-524,5$ | $M_{x4}=24162$ |
| $F_{y2}=4346,3$ | $M_{y2}=0$ | $F_{y3}=2195,1$ | $M_{y3}=18997$ | $F_{y4}=1273,1$ | $M_{y4}=3034$ |
| $F_{z2}=-1246,3$ | $M_{z2}=0$ | $F_{z3}=-826,8$ | $M_{z3}=0$ | $F_{z4}=2904,2$ | $M_{z4}=3034$ |

| CARREGAMENTO 11: FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO = 0,1428 | | | | | |
|---|----------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ESFORÇOS NO NÓ 2 | | ESFORÇOS NO NÓ 3 | | ESFORÇOS NO NÓ 4 | |
| [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] |
| $F_{x2}=0$ | $M_{x2}=47378$ | $F_{x3}=600,4$ | $M_{x3}=-72376$ | $F_{x4}=-542,6$ | $M_{x4}=24998$ |
| $F_{y2}=4406,0$ | $M_{y2}=0$ | $F_{y3}=2240,8$ | $M_{y3}=19392$ | $F_{y4}=1317,1$ | $M_{y4}=3138$ |
| $F_{z2}=-1263,3$ | $M_{z2}=0$ | $F_{z3}=-844,1$ | $M_{z3}=0$ | $F_{z4}=3004,7$ | $M_{z4}=3138$ |

| CARREGAMENTO 12: FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO = 0,0357 | | | | | |
|---|----------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ESFORÇOS NO NÓ 2 | | ESFORÇOS NO NÓ 3 | | ESFORÇOS NO NÓ 4 | |
| [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] |
| $F_{x2}=0$ | $M_{x2}=49021$ | $F_{x3}=634,1$ | $M_{x3}=-76437$ | $F_{x4}=-595,1$ | $M_{x4}=27416$ |
| $F_{y2}=4558,8$ | $M_{y2}=0$ | $F_{y3}=2366,5$ | $M_{y3}=20480$ | $F_{y4}=1444,5$ | $M_{y4}=3442$ |
| $F_{z2}=-1307,2$ | $M_{z2}=0$ | $F_{z3}=-891,4$ | $M_{z3}=0$ | $F_{z4}=3295,4$ | $M_{z4}=3442$ |

| CARREGAMENTO 13: FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO = 0,0357 | | | | | |
|---|----------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ESFORÇOS NO NÓ 2 | | ESFORÇOS NO NÓ 3 | | ESFORÇOS NO NÓ 4 | |
| [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] |
| $F_{x2}=0$ | $M_{x2}=49575$ | $F_{x3}=646,3$ | $M_{x3}=-77913$ | $F_{x4}=-615,1$ | $M_{x4}=28338$ |
| $F_{y2}=4610,2$ | $M_{y2}=0$ | $F_{y3}=2412,2$ | $M_{y3}=20876$ | $F_{y4}=1493,1$ | $M_{y4}=3556$ |
| $F_{z2}=-1322,0$ | $M_{z2}=0$ | $F_{z3}=-908,6$ | $M_{z3}=0$ | $F_{z4}=3406,2$ | $M_{z4}=3556$ |

| CARREGAMENTO 14: FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO = 0,0714 | | | | | |
|---|----------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ESFORÇOS NO NÓ 2 | | ESFORÇOS NO NÓ 3 | | ESFORÇOS NO NÓ 4 | |
| [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] |
| $F_{x2}=0$ | $M_{x2}=50114$ | $F_{x3}=658,8$ | $M_{x3}=-79412$ | $F_{x4}=-635,9$ | $M_{x4}=29298$ |
| $F_{y2}=4660,4$ | $M_{y2}=0$ | $F_{y3}=2458,7$ | $M_{y3}=21277$ | $F_{y4}=1543,7$ | $M_{y4}=3678$ |
| $F_{z2}=-1336,3$ | $M_{z2}=0$ | $F_{z3}=-926,1$ | $M_{z3}=0$ | $F_{z4}=3521,6$ | $M_{z4}=3678$ |

| CARREGAMENTO 15: FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO = 0,0357 | | | | | |
|---|----------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ESFORÇOS NO NÓ 2 | | ESFORÇOS NO NÓ 3 | | ESFORÇOS NO NÓ 4 | |
| [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] |
| $F_{x2}=0$ | $M_{x2}=52815$ | $F_{x3}=732,3$ | $M_{x3}=-88271$ | $F_{x4}=-769,6$ | $M_{x4}=35456$ |
| $F_{y2}=4911,6$ | $M_{y2}=0$ | $F_{y3}=2732,9$ | $M_{y3}=23651$ | $F_{y4}=1868,1$ | $M_{y4}=4451$ |
| $F_{z2}=-1408,3$ | $M_{z2}=0$ | $F_{z3}=-1029,4$ | $M_{z3}=0$ | $F_{z4}=4261,8$ | $M_{z4}=4451$ |

| CARREGAMENTO 16: FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO = 0,0714 | | | | | |
|---|----------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ESFORÇOS NO NÓ 2 | | ESFORÇOS NO NÓ 3 | | ESFORÇOS NO NÓ 4 | |
| [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] | [kgf] | [kgf.cm] |
| $F_{x2}=0$ | $M_{x2}=53452$ | $F_{x3}=753,9$ | $M_{x3}=-90877$ | $F_{x4}=-812,3$ | $M_{x4}=37425$ |
| $F_{y2}=4970,8$ | $M_{y2}=0$ | $F_{y3}=2813,6$ | $M_{y3}=24349$ | $F_{y4}=1971,8$ | $M_{y4}=4699$ |
| $F_{z2}=-1425,4$ | $M_{z2}=0$ | $F_{z3}=-1059,8$ | $M_{z3}=0$ | $F_{z4}=4498,5$ | $M_{z4}=4699$ |

Tendo-se determinado os esforços atuantes em cada nó, para cada *CARREGAMENTO*, procedeu-se a aplicação do *STRESS*, a fim de se calcular as *REAÇÕES* dos apoios.

Na sequência, apresentam-se o *PROGRAMA* e os *RESULTADOS* por ele calculados.

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO (REACOES)

TYPE SPACE FRAME

NUMBER OF JCINTS 5

NUMBER OF SUPPORTS 2

NUMBER OF MEMBERS 4

NUMBER OF LOADINGS 16

JOINT COORDINATES

1 0. 0. 0. 5

2 15.20 0. 0.

3 34.45 0. 0.

4 69.20 0. 0.

5 80.25 0. 0. 5

JOINT RELEASES

1 MOMENT X Y Z

5 FORCE X MOMENT X Y Z

MEMBER INCIDENCE

1 1 2

2 2 3

3 3 4

4 4 5

MEMBER PROPERTIES PRISMATIC AX 1. IZ 1. IY 1. IX 1.

1 THRU 4

LOADING 1 CARREGAMENTO 1 (FREQUENCIA= 0,0357)

TABULATE REACTIONS

JOINT LOADS

2 FORCE X 0. Y 2701.1 Z -774.5 MOMENT X 29046. Y 0. Z 0.

3 FORCE X 342.7 Y 1279. Z -481.9 MOMENT X -41310. Y 11068. Z 0.

4 FORCE X -266.2 Y 646.2 Z 1474.2 MOMENT X 12264. Y 1540. Z 1540.

LOADING 2 CARREGAMENTO 2 (FREQUENCIA= 0,0357)

TABULATE REACTIONS

JOINT LOADS

2 FORCE X 0. Y 2963.6 Z -849.8 MOMENT X 31868. Y 0. Z 0.

3 FORCE X 374.6 Y 1396.1 Z -526.6 MOMENT X -45156. Y 12099. Z 0.

4 FORCE X -288.4 Y 700.1 Z 1597.1 MOMENT X 13288. Y 1668. Z 1668.

LOADING 3 CARREGAMENTO 3 (FREQUENCIA= 0,0357)

TABULATE REACTIONS

JOINT LOADS

2 FORCE X 0. Y 3098.4 Z -888.5 MOMENT X 33318. Y 0. Z 0.

3 FORCE X 391.7 Y 1462. Z -550.7 MOMENT X -47220. Y 12652. Z 0.

4 FORCE X -301.8 Y 732.5 Z 1671. MOMENT X 13902. Y 1745. Z 1745.

LOADING 4 CARREGAMENTO 4 (FREQUENCIA= 0,0357)

TABULATE REACTIONS

JOINT LOADS

2 FORCE X 0. Y 3193.7 Z -915.8 MOMENT X 34343. Y 0. Z 0.

3 FORCE X 404.2 Y 1508.4 Z -568.2 MOMENT X -48719. Y 13054. Z 0.

4 FORCE X -312. Y 757.4 Z 1728. MOMENT X 14376. Y 1805. Z 1805.

LOADING 5 CARREGAMENTO 5 (FREQUENCIA= 0,0714)

TABULATE REACTIONS

JOINT LOADS

2 FORCE X 0. Y 3298.8 Z -945.9 MOMENT X 35473. Y 0. Z 0.

3 FORCE X 418.2 Y 1560.9 Z -587.9 MOMENT X -50414. Y 13508. Z 0.

4 FORCE X -324.3 Y 787.2 Z 1795.8 MOMENT X 14941. Y 1876. Z 1876.

LOADING 6 CARREGAMENTO 6 (FREQUENCIA= 0,0714)

TABULATE REACTIONS

JOINT LOADS

2 FORCE X 0. Y 3410.2 Z -977.8 MOMENT X 36671. Y 0. Z 0.

3 FORCE X 433.5 Y 1618.1 Z -609.5 MOMENT X -52262. Y 14003. Z 0.

4 FORCE X -338.4 Y 821.4 Z 1874. MOMENT X 15591. Y 1957. Z 1957.

LOADING 7 CARREGAMENTO 7 (FREQUENCIA= 0,1735)

TABULATE REACTIONS

JOINT LOADS

2 FORCE X 0. Y 3562.9 Z -1021.7 MOMENT X 38313. Y 0. Z 0.
3 FORCE X 455.3 Y 1699.4 Z -640.1 MOMENT X -54890. Y 14707. Z 0.
4 FORCE X -359.8 Y 873.4 Z 1992.5 MOMENT X 16577. Y 2081. Z 2081.
LOADING 8 CARREGAMENTO 8 (FRECUENCIA= 0,0357)

TABULATE REACTIONS

JOINT LOADS

2 FORCE X 0. Y 3712.3 Z -1064.5 MOMENT X 39919. Y 0. Z 0.
3 FORCE X 477.7 Y 1782.8 Z -671.5 MOMENT X -57583. Y 15429. Z 0.
4 FORCE X -383.4 Y 930.7 Z 2123.2 MOMENT X 17664. Y 2218. Z 2218.
LOADING 9 CARREGAMENTO 9 (FRECUENCIA= 0,0714)

TABULATE REACTIONS

JOINT LOADS

2 FORCE X 0. Y 3929.7 Z -1126.8 MOMENT X 42256. Y 0. Z 0.
3 FORCE X 512.3 Y 1911.9 Z -720.2 MOMENT X -61754. Y 16546. Z 0.
4 FORCE X -423.2 Y 1027.3 Z 2343.6 MOMENT X 19498. Y 2448. Z 2448.
LOADING 10 CARREGAMENTO 10 (FRECUENCIA= 0,0357)

TABULATE REACTIONS

JOINT LOADS

2 FORCE X 0. Y 4346.3 Z -1246.3 MOMENT X 46737. Y 0. Z 0.
3 FORCE X 588.1 Y 2195.1 Z -826.8 MOMENT X -70899. Y 18997. Z 0.
4 FORCE X -524.5 Y 1273.1 Z 2904.2 MOMENT X 24162. Y 3034. Z 3034.
LOADING 11 CARREGAMENTO 11 (FRECUENCIA= 0,1428)

TABULATE REACTIONS

JOINT LOADS

2 FORCE X 0. Y 4406. Z -1263.3 MOMENT X 47378. Y 0. Z 0.
3 FORCE X 600.4 Y 2240.8 Z -844.1 MOMENT X -72376. Y 19392. Z 0.
4 FORCE X -542.6 Y 1317.1 Z 3004.7 MOMENT X 24998. Y 3138. Z 3138.
LOADING 12 CARREGAMENTO 12 (FRECUENCIA= 0,0357)

TABULATE REACTIONS

JOINT LOADS

2 FORCE X 0. Y 4558.8 Z -1307.2 MOMENT X 49021. Y 0. Z 0.
3 FORCE X 634.1 Y 2366.5 Z -891.4 MOMENT X -76437. Y 20480. Z 0.
4 FORCE X -595.1 Y 1444.5 Z 3295.4 MOMENT X 27416. Y 3442. Z 3442.
LOADING 13 CARREGAMENTO 13 (FRECUENCIA= 0,0357)

TABULATE REACTIONS

JOINT LOADS

2 FORCE X 0. Y 4610.2 Z -1322. MOMENT X 49575. Y 0. Z 0.
3 FORCE X 646.3 Y 2412.2 Z -908.6 MOMENT X -77913. Y 20876. Z 0.
4 FORCE X -615.1 Y 1493.1 Z 3406.2 MOMENT X 28338. Y 3556. Z 3556.
LOADING 14 CARREGAMENTO 14 (FRECUENCIA= 0,0714)

TABULATE REACTIONS

JOINT LOADS

2 FORCE X 0. Y 4660.4 Z -1336.3 MOMENT X 50114. Y 0. Z 0.
3 FORCE X 658.8 Y 2458.7 Z -926.1 MOMENT X -79412. Y 21277. Z 0.
4 FORCE X -635.9 Y 1543.7 Z 3521.6 MOMENT X 29298. Y 3678. Z 3678.
LOADING 15 CARREGAMENTO 15 (FRECUENCIA= 0,0357)

TABULATE REACTIONS

JOINT LOADS

2 FORCE X 0. Y 4911.6 Z -1408.3 MOMENT X 52815. Y 0. Z 0.
3 FORCE X 732.3 Y 2732.9 Z -1029.4 MOMENT X -88271. Y 23651. Z 0.
4 FORCE X -769.6 Y 1868.1 Z 4261.8 MOMENT X 35456. Y 4451. Z 4451.
LOADING 16 CARREGAMENTO 16 (FRECUENCIA= 0,0714)

TABULATE REACTIONS

JOINT LOADS

2 FORCE X 0. Y 4970.8 Z -1425.4 MOMENT X 53452. Y 0. Z 0.
3 FORCE X 753.9 Y 2813.6 Z -1059.8 MOMENT X -90877. Y 24349. Z 0.
4 FORCE X -812.3 Y 1971.8 Z 4498.5 MOMENT X 37425. Y 4699. Z 4699.

SOLVE
PROBLEM CORRECTLY SPECIFIED, EXECUTION TO PROCEED.

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO (REACOES)

=====

LOADING 1 CARREGAMENTO 1 (FREQUENCIA= 0,0357)

=====

APPLIED JOINT LOADS, FREE JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| 2 | -0.000 | 2701.113 | -774.502 | 29045.99 | -0.01 | -0.20 |
| 3 | 342.699 | 1279.002 | -481.799 | -41310.00 | 11067.98 | -0.14 |
| 4 | -266.199 | 646.234 | 1474.198 | 12264.00 | 1540.00 | 1540.06 |

REACTIONS, APPLIED LOADS SUPPORT JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|---------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | -76.500 | -2989.246 | 542.678 | 0.00 | -0.01 | -0.17 |
| 5 | -0.000 | -1637.104 | -760.575 | -0.00 | 0.00 | 0.06 |

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO (REACOES)

LOADING 2 CARREGAMENTO 2 (FREQUENCIA= 0,0357)

=====

APPLIED JOINT LOADS, FREE JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| 2 | -0.000 | 2963.614 | -849.803 | 31868.00 | -0.02 | -0.17 |
| 3 | 374.599 | 1398.101 | -526.599 | -45156.00 | 12098.98 | -0.17 |
| 4 | -288.399 | 700.161 | 1597.097 | 13287.99 | 1668.01 | 1668.13 |

REACTIONS, APPLIED LOADS SUPPORT JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|---------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | -86.200 | -3275.827 | 597.919 | -0.00 | -0.02 | -0.23 |
| 5 | -0.000 | -1786.050 | -818.615 | 0.00 | 0.01 | 0.22 |

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO (REACOES)

LOADING 3 CARREGAMENTO 3 (FREQUENCIA= 0,0357)

=====

APPLIED JOINT LOADS, FREE JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| 2 | -0.000 | 3098.419 | -888.503 | 33318.00 | -0.04 | -0.20 |
| 3 | 391.699 | 1461.996 | -550.700 | -47220.00 | 12651.98 | -0.17 |
| 4 | -301.799 | 732.545 | 1670.999 | 13901.99 | 1744.99 | 1745.05 |

REACTIONS, APPLIED LOADS SUPPORT JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|---------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | -89.900 | -3425.067 | 625.018 | 0.00 | -0.03 | -0.20 |
| 5 | -0.000 | -1867.893 | -856.814 | 0.00 | 0.00 | 0.08 |

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO (REACOES)

LOADING 4 CARREGAMENTO 4 (FREQUENCIA= 0,0357)

=====

APPLIED JOINT LOADS, FREE JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| 2 | -0.000 | 3193.729 | -915.803 | 34343.00 | -0.02 | -0.28 |
| 3 | 404.199 | 1508.394 | -568.199 | -48719.00 | 13053.98 | -0.10 |
| 4 | -311.999 | 757.430 | 1727.998 | 14375.99 | 1805.00 | 1804.97 |

REACTIONS, APPLIED LOADS SUPPORT JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|---------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | -92.199 | -3531.487 | 643.529 | 0.00 | -0.03 | -0.25 |
| 5 | -0.000 | -1928.067 | -887.525 | 0.00 | 0.00 | -0.02 |

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO (REACCOS)

LOADING 5 CARREGAMENTO 5 (FREQUENCIA= 0,0714)

=====

APPLIED JOINT LOADS, FREE JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| 2 | -0.000 | 3298.824 | -945.902 | 35473.00 | -0.03 | -0.19 |
| 3 | 418.199 | 1560.894 | -587.900 | -50414.00 | 13507.96 | -0.10 |
| 4 | -324.299 | 787.259 | 1795.797 | 14941.00 | 1876.00 | 1876.11 |

REACTIONS, APPLIED LOADS SUPPORT JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|---------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | -93.899 | -3649.855 | 663.294 | -0.00 | -0.03 | -0.19 |
| 5 | -0.000 | -1997.123 | -925.288 | -0.00 | 0.01 | 0.19 |

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO (REACCOS)

LOADING 6 CARREGAMENTO 6 (FREQUENCIA= 0,0714)

=====

APPLIED JOINT LOADS, FREE JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| 2 | -0.000 | 3410.222 | -977.803 | 36671.00 | -0.02 | -0.24 |
| 3 | 433.500 | 1618.098 | -609.499 | -52261.99 | 14002.97 | -0.14 |
| 4 | -338.399 | 821.457 | 1873.998 | 15591.00 | 1957.00 | 1957.12 |

REACTIONS, APPLIED LOADS SUPPORT JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|---------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | -95.100 | -3776.502 | 663.534 | -0.00 | -0.03 | -0.26 |
| 5 | -0.000 | -2073.275 | -970.229 | -0.00 | 0.01 | 0.13 |

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO (REACCOS)

LOADING 7 CARREGAMENTO 7 (FREQUENCIA= 0,1785)

=====

APPLIED JOINT LOADS, FREE JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 2 | -0.000 | 3562.912 | -1021.702 | 38313.00 | -0.02 | -0.25 |
| 3 | 455.299 | 1699.407 | -640.099 | -54890.00 | 14706.97 | -0.23 |
| 4 | -359.799 | 873.431 | 1992.497 | 16577.00 | 2081.01 | 2080.93 |

REACTIONS, APPLIED LOADS SUPPORT JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|---------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 1 | -95.500 | -3952.293 | 709.947 | -0.00 | -0.03 | -0.30 |
| 5 | -0.000 | -2183.458 | -1040.643 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO (REACOES)

LOADING 8 CARREGAMENTO 8 (FREQUENCIA= 0,0357)

=====

APPLIED JOINT LOADS, FREE JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 2 | -0.000 | 3712.318 | -1064.502 | 39919.00 | -0.03 | -0.35 |
| 3 | 477.699 | 1782.803 | -671.500 | -57583.00 | 15428.96 | -0.18 |
| 4 | -383.399 | 930.743 | 2123.198 | 17664.00 | 2218.01 | 2218.07 |

REACTIONS, APPLIED LOADS SUPPORT JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|---------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 1 | -94.300 | -4127.178 | 733.861 | 0.00 | -0.03 | -0.22 |
| 5 | -0.000 | -2298.687 | -1121.056 | -0.00 | 0.00 | 0.06 |

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO (REACOES)

LOADING 9 CARREGAMENTO 9 (FREQUENCIA= 0,0714)

=====

APPLIED JOINT LOADS, FREE JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 2 | -0.000 | 3929.698 | -1126.804 | 42255.99 | -0.04 | -0.37 |
| 3 | 512.299 | 1911.911 | -720.199 | -61753.99 | 16545.97 | -0.40 |
| 4 | -423.199 | 1027.345 | 2343.599 | 19498.00 | 2448.00 | 2447.96 |

REACTIONS, APPLIED LOADS SUPPORT JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|---------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 1 | -89.100 | -4387.509 | 765.023 | 0.00 | -0.04 | -0.23 |
| 5 | -0.000 | -2481.446 | -1261.618 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO (REACCOES)

LOADING 10 CARREGAMENTO 10 (FREQUENCIA= 0,0357)

=====

APPLIED JOINT LOADS, FREE JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 2 | 0.000 | 4346.303 | -1246.302 | 46736.99 | -0.02 | -0.35 |
| 3 | 588.099 | 2195.116 | -826.800 | -70899.00 | 18996.97 | -0.29 |
| 4 | -524.499 | 1273.168 | 2904.201 | 24162.00 | 3034.01 | 3034.14 |

REACTIONS, APPLIED LOADS SUPPORT JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|---------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 1 | -63.600 | -4913.376 | 807.689 | 0.00 | -0.02 | -0.26 |
| 5 | -0.000 | -2901.211 | -1638.788 | 0.00 | 0.00 | 0.18 |

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO (REACCOES)

LOADING 11 CARREGAMENTO 11 (FREQUENCIA= 0,1428)

=====

APPLIED JOINT LOADS, FREE JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 2 | -0.000 | 4406.033 | -1263.300 | 47378.00 | -0.04 | -0.31 |
| 3 | 600.399 | 2240.795 | -844.101 | -72376.00 | 19391.96 | -0.25 |
| 4 | -542.599 | 1317.179 | 3004.701 | 24997.99 | 3138.00 | 3138.12 |

REACTIONS, APPLIED LOADS SUPPORT JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|---------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 1 | -57.800 | -4992.625 | 811.286 | 0.00 | -0.02 | -0.32 |
| 5 | -0.000 | -2971.382 | -1708.585 | 0.00 | -0.00 | 0.22 |

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO (REACOES)

LOADING 12 CARREGAMENTO 12 (FREQUENCIA= 0,0357)

=====

APPLIED JOINT LOADS, FREE JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 2 | -0.000 | 4558.851 | -1307.203 | 49020.99 | -0.02 | -0.28 |
| 3 | 634.099 | 2366.483 | -891.398 | -76437.00 | 20479.98 | -0.14 |
| 4 | -595.099 | 1444.614 | 3295.406 | 27416.00 | 3441.98 | 3442.31 |

REACTIONS, APPLIED LOADS SUPPORT JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|---------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 1 | -39.000 | -5201.985 | 816.492 | 0.00 | -0.02 | -0.39 |
| 5 | -0.000 | -3167.965 | -1913.296 | 0.00 | -0.01 | 0.41 |

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO (REACOES)

LOADING 13 CARREGAMENTO 13 (FREQUENCIA= 0,0357)

APPLIED JOINT LOADS, FREE JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 2 | -0.000 | 4610.208 | -1322.003 | 49575.00 | -0.02 | -0.26 |
| 3 | 646.299 | 2412.204 | -908.599 | -77913.00 | 20875.97 | -0.21 |
| 4 | -615.099 | 1493.167 | 3406.204 | 28338.00 | 3556.00 | 3555.95 |

REACTIONS, APPLIED LOADS SUPPORT JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|---------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 1 | -31.200 | -5274.979 | 816.694 | 0.00 | -0.03 | -0.25 |
| 5 | 0.000 | -3240.601 | -1992.296 | 0.00 | -0.00 | 0.21 |

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO (REACOES)

LOADING 14 CARREGAMENTO 14 (FREQUENCIA= 0,0714)

=====

APPLIED JOINT LOADS, FREE JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 2 | -0.000 | 4660.398 | -1336.302 | 50114.00 | -0.02 | -0.35 |
| 3 | 658.799 | 2458.717 | -926.099 | -79412.00 | 21276.97 | -0.32 |
| 4 | -635.899 | 1543.781 | 3521.604 | 29298.00 | 3678.01 | 3678.22 |

REACTIONS, APPLIED LOADS SUPPORT JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|---------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 1 | -22.900 | -5347.656 | 815.865 | -0.00 | -0.02 | -0.25 |
| 5 | -0.000 | -3315.241 | -2075.068 | 0.00 | -0.02 | 0.22 |

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO (REACOES)

LOADING 15 CARREGAMENTO 15 (FREQUENCIA= 0,0357)

=====

APPLIED JOINT LOADS, FREE JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 2 | 0.000 | 4911.654 | -1408.301 | 52815.00 | -0.02 | -0.31 |
| 3 | 732.299 | 2732.883 | -1029.399 | -88271.00 | 23650.97 | -0.12 |
| 4 | -769.599 | 1868.182 | 4261.809 | 35456.00 | 4451.02 | 4450.96 |

REACTIONS, APPLIED LOADS SUPPORT JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|---------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 1 | 37.299 | -5742.831 | 792.045 | 0.00 | -0.01 | -0.35 |
| 5 | -0.000 | -3769.890 | -2616.153 | 0.00 | -0.04 | 0.27 |

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO (REACOES)

LOADING 16 CARREGAMENTO 16 (FREQUENCIA= 0,0714)

=====

APPLIED JOINT LOADS, FREE JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 2 | 0.000 | 4970.850 | -1425.402 | 53452.00 | -0.01 | -0.37 |
| 3 | 753.899 | 2813.583 | -1059.799 | -90877.00 | 24348.98 | -0.21 |
| 4 | -812.299 | 1971.882 | 4498.508 | 37425.00 | 4698.98 | 4698.91 |

REACTIONS, APPLIED LOADS SUPPORT JOINTS

| JOINT | FORCE X | FORCE Y | FORCE Z | MOMENT X | MOMENT Y | MOMENT Z |
|-------|---------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 1 | 58.399 | -5848.063 | 778.375 | 0.00 | -0.01 | -0.42 |
| 5 | -0.000 | -3908.252 | -2792.183 | 0.00 | -0.00 | 0.20 |

A partir dos RESULTADOS CALCULADOS PELO PROGRAMA, construiu-se a TABELA VI.6 que fornece as REAÇÕES nos mancais A e B, para cada CARREGAMENTO, nas respectivas frequências de atuação.

TABELA VI.6 - VALORES DAS REAÇÕES NOS MANCAIS A e B, PARA CADA CARREGAMENTO E AS FREQUÊNCIAS DE ATUAÇÃO, CORRESPONDENTES

| CARREGAMENTO (i) | REAÇÕES NO MANCAL A EM [kgf] | | | REAÇÕES NO MANCAL B EM [kgf] | | | FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO (f _i) |
|---------------------|---------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------|----------------|----------------|---|
| | A _x | A _y | A _z | B _x | B _y | B _z | |
| 1 | -76,500 | -2989,246 | 542,678 | 0,000 | -1637,104 | -760,575 | 0,0357 |
| 2 | -86,200 | -3275,827 | 597,919 | 0,000 | -1786,050 | -818,615 | 0,0357 |
| 3 | -89,900 | -3425,067 | 625,018 | 0,000 | -1867,893 | -856,814 | 0,0357 |
| 4 | -92,199 | -3531,487 | 643,529 | 0,000 | -1928,067 | -887,525 | 0,0357 |
| 5 | -93,899 | -3649,855 | 663,294 | 0,000 | -1997,123 | -925,288 | 0,0714 |
| 6 | -95,100 | -3776,502 | 683,534 | 0,000 | -2073,275 | -970,229 | 0,0714 |
| 7 | -95,500 | -3952,293 | 709,947 | 0,000 | -2183,458 | -1040,643 | 0,1785 |
| 8 | -94,300 | -4127,178 | 733,861 | 0,000 | -2298,687 | -1121,056 | 0,0357 |
| 9 | -89,100 | -4387,509 | 765,023 | 0,000 | -2481,446 | -1261,618 | 0,0714 |
| 10 | -63,600 | -4913,376 | 807,689 | 0,000 | -2901,211 | -1638,788 | 0,0357 |
| 11 | -57,800 | -4992,625 | 811,286 | 0,000 | -2971,382 | -1708,585 | 0,1428 |
| 12 | -39,000 | -5201,985 | 816,492 | 0,000 | -3167,965 | -1913,296 | 0,0357 |
| 13 | -31,200 | -5274,979 | 816,694 | 0,000 | -3240,601 | -1992,296 | 0,0357 |
| 14 | -22,900 | -5347,656 | 815,865 | 0,000 | -3315,241 | -2075,068 | 0,0714 |
| 15 | 37,299 | -5742,831 | 792,045 | 0,000 | -3769,890 | -2616,153 | 0,0357 |
| 16 | 58,399 | -5848,063 | 778,875 | 0,000 | -3908,252 | -2792,183 | 0,0714 |

As forças axiais e radiais nos mancais A e B serão dadas por:

$$\text{FORÇA AXIAL NO MANCAL A} = F_{Aa} = A_x$$

$$\text{FORÇA RADIAL NO MANCAL A} = F_{Ar} = \sqrt{A_y^2 + A_z^2}$$

$$\text{FORÇA AXIAL NO MANCAL B} = F_{Ba} = B_x$$

$$\text{FORÇA RADIAL NO MANCAL B} = F_{Br} = \sqrt{B_y^2 + B_z^2}$$

A TABELA VI.7 apresenta as forças axiais e radiais nos mancais, para cada carregamento, e as frequências de atuação.

TABELA VI.7 - FORÇAS AXIAIS E RADIAIS ATUANTES EM CADA MANCAL, PARA CADA CARREGAMENTO E SUAS RESPECTIVAS FREQUÊNCIAS DE ATUAÇÃO

| CARREGAMENTO (i) | FORÇAS NO MANCAL A EM [kgf] | | FORÇAS NO MANCAL B EM [kgf] | | FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO (f _i) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|
| | (F _{Aa}) _i | (F _{Ar}) _i | (F _{Ba}) _i | F _{Br}) _i | |
| 1 | 76,500 | 3038,106 | 0,000 | 1805,155 | 0,0357 |
| 2 | 86,200 | 3329,947 | 0,000 | 1964,715 | 0,0357 |
| 3 | 89,900 | 3481,628 | 0,000 | 2055,032 | 0,0357 |
| 4 | 92,199 | 3589,642 | 0,000 | 2122,532 | 0,0357 |
| 5 | 93,899 | 3709,636 | 0,000 | 2201,058 | 0,0714 |
| 6 | 95,100 | 3837,862 | 0,000 | 2289,064 | 0,0714 |
| 7 | 95,500 | 4015,550 | 0,000 | 2418,766 | 0,1785 |
| 8 | 94,300 | 4191,915 | 0,000 | 2557,485 | 0,0357 |
| 9 | 89,100 | 4453,706 | 0,000 | 2783,748 | 0,0714 |
| 10 | 63,600 | 4979,320 | 0,000 | 3332,064 | 0,0357 |
| 11 | 57,800 | 5058,111 | 0,000 | 3427,590 | 0,1428 |
| 12 | 39,000 | 5265,673 | 0,000 | 3700,906 | 0,0357 |
| 13 | 31,200 | 5337,827 | 0,000 | 3804,042 | 0,0357 |
| 14 | 22,900 | 5409,534 | 0,000 | 3911,103 | 0,0714 |
| 15 | 37,299 | 5797,193 | 0,000 | 4588,717 | 0,0357 |
| 16 | 58,399 | 5899,702 | 0,000 | 4803,199 | 0,0714 |

A CARGA DINÂMICA EQUIVALENTE de um ROLAMENTO é dada pela expressão [24, 25, 26, 27]

$$P = X.F_r + Y.F_a \quad (6.4.1)$$

onde,

F_r = CARGA RADIAL

F_a = CARGA AXIAL

X = FATOR RADIAL DO ROLAMENTO

Y = FATOR AXIAL DO ROLAMENTO

6.4.1. DETERMINAÇÃO DA VIDA DO ROLAMENTO A

Segundo informação fornecida pelo fabricante, o *ROLAMENTO A* é auto-compensador de rolos tipo 23218 e de dimensões:

DIÂMETRO INTERNO = d = 90 mm

DIÂMETRO EXTERNO = D = 180 mm

LARGURA = B = 52,4 mm

Tendo-se verificado que para todos os casos de carregamento (TABELA VI.7) a relação

$$\frac{(F_{Aa})_i}{(F_{Ar})_i} < e = 0,34$$

onde e é a *CARACTERÍSTICA DE CARGA DO ROLAMENTO* (fornecida pelo catálogo da SKF), os fatores X e Y da equação (6.4.1) assumem os valores 1 e 2, respectivamente. Portanto, a *CARGA DINÂMICA EQUIVALENTE* para cada carregamento será dada por:

$$P_i = 1 \cdot (F_{Ar})_i + 2 \cdot (F_{Aa})_i$$

A TABELA VI.8 fornece a *CARGA DINÂMICA EQUIVALENTE* e sua frequência de atuação para cada carregamento.

TABELA VI.8 - CARGA DINÂMICA EQUIVALENTE E SUA FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO PARA CADA CARREGAMENTO

| CARREGAMENTO (i) | P _i [kgf] | FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO (f _i) |
|---------------------|-------------------------|---|
| 1 | 3191,106 | 0,0357 |
| 2 | 3502,347 | 0,0357 |
| 3 | 3661,428 | 0,0357 |
| 4 | 3774,040 | 0,0357 |
| 5 | 3897,434 | 0,0714 |
| 6 | 4028,062 | 0,0714 |
| 7 | 4206,550 | 0,1785 |
| 8 | 4380,515 | 0,0357 |
| 9 | 4631,906 | 0,0714 |
| 10 | 5106,520 | 0,0357 |
| 11 | 5173,711 | 0,1428 |
| 12 | 5343,673 | 0,0357 |
| 13 | 5400,227 | 0,0357 |
| 14 | 5455,334 | 0,0714 |
| 15 | 5871,791 | 0,0357 |
| 16 | 6016,500 | 0,0714 |

Uma vez que se trata de solicitações variáveis, a CARGA MÉDIA constante, que exerce na vida do rolamento a mesma influência que a carga variável, é obtida pela expressão [24, 25, 26, 27] :

$$P_m = \sqrt[3,3]{\sum (P_i)^{3,3} f_i}$$

Assim,

$$P_m = 4790 \text{ kgf}$$

Sendo a transmissão por engrenagens, esta carga deverá ser afetada por um fator que depende dos erros de passo e perfil do dente. Para o caso em questão, este fator (f_K) será 1,1 [26]. Logo, o valor da carga corrigida é:

$$P_{mc} = f_K \cdot P_m = 5269 \text{ kgf}$$

A CAPACIDADE DE CARGA DINÂMICA do rolamento 23218, segundo o catálogo SKF, é:

$$C = 27500 \text{ kgf}$$

A vida (L) do rolamento em milhões de rotações é dada pela expressão:

$$L = \left(\frac{C}{P_{mc}} \right)^{3,3} \quad (6.4.2)$$

Portanto,

$$L = \left(\frac{27500}{5269} \right)^{3,3} = 233,4$$

A vida correspondente em horas será:

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{60 \cdot n_{III}} \quad (6.4.3)$$

onde,

L = VIDA EM MILHÕES DE ROTAÇÕES
 n_{III} = ROTAÇÃO DO EIXO INTERMEDIÁRIO (EIXO III)

Assim,

$$L_h = \frac{233,4 \cdot 10^6}{60 \cdot 71,34} = 54527 \text{ horas}$$

6.4.2. DETERMINAÇÃO DA VIDA DO ROLAMENTO B

Segundo informação fornecida pelo fabricante, o ROLAMENTO B é auto-compensador de rolos tipo 22216 e de dimensões:

$$\begin{aligned} \text{DIÂMETRO INTERNO} &= d = 80 \text{ mm} \\ \text{DIÂMETRO EXTERNO} &= D = 140 \text{ mm} \\ \text{LARGURA} &= B = 33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tendo-se verificado que para todos os casos de carregamento (TABELA VI.7) a relação

$$\frac{(F_{Ba})_i}{(F_{Br})_i} < e = 0,34$$

onde e é a *CARACTERÍSTICA DE CARGA DO ROLAMENTO* (fornecida pelo catálogo da SKF), os fatores X e Y da equação (6.4.1) assumem os valores 1 e 2, respectivamente. Portanto, a *CARGA DINÂMICA EQUIVALENTE* para cada carregamento será dada por:

$$P_i = 1.(F_{Br})_i + 2.(F_{Ba})_i$$

Não havendo carga axial (TABELA VI.7), tem-se que:

$$P_i = (F_{Br})_i$$

Uma vez que se trata de solicitações variáveis, a *CARGA MÉDIA* constante, que exerce na vida do rolamento a mesma influência que a carga variável, é obtida pela expressão:

$$P_m = \sqrt[3,3]{\sum (P_i)^{3,3}} f_i$$

ou ainda,

$$P_m = \sqrt[3,3]{\sum (F_{Br})_i^{3,3}} f_i$$

Portanto,

$$P_m = 3272 \text{ kgf}$$

Sendo a transmissão por engrenagens, esta carga deverá ser afetada por um fator que depende dos erros de passo e perfil do dente. Para o caso em questão, este fator (f_k) será 1,1 [26].

Logo, o valor da carga corrigida é:

$$P_{mc} = f_k \cdot P_m = 3599 \text{ kgf}$$

A CAPACIDADE DE CARGA DINÂMICA do rolamento 22216, segundo o catálogo SKF, é:

$$C = 15600 \text{ kgf}$$

A vida (L) do rolamento em milhões de rotações é dada pela equação (6.4.2). Assim,

$$L = 126,45$$

A vida correspondente em horas (L_h), dada pela equação (6.4.3), será

$$L_h = 29541 \text{ horas}$$

6.4.3. VERIFICAÇÃO DOS ROLAMENTOS A E B

De acordo com os cálculos realizados, anteriormente, as vidas (em horas) para os rolamentos A e B são 54527 e 29541, respectivamente. Segundo o catálogo SKF, a vida de um rolamento de máquinas para 8 horas de serviço diário, utilizadas inteiramente é de 20000 a 30000 horas. Verifica-se, portanto, que embora o rolamento B satisfaça as exigências requeridas, o rolamento A está superdimensionado.

Empregando-se para o *MANCAL A*, ao invés de um rolamento 23218, o rolamento 22218 com as seguintes dimensões e características:

DIÂMETRO INTERNO = d = 90 mm

DIÂMETRO EXTERNO = D = 160 mm

LARGURA = B = 40 mm

CAPACIDADE DE CARGA DINÂMICA = C = 21600 kgf

a sua vida (L) em milhões de rotações, dada pela equação (6.4.2), será:

$$L = 105,19$$

A vida correspondente em horas (L_h), de acordo com a equação (6.4.3), será:

$$L_h = 24576 \text{ horas}$$

satisfazendo, portanto, as exigências requeridas. Deve-se adotar, então, para o *MANCAL A* o rolamento *SKF 22218*.

6.5. EIXO INTERMEDIÁRIO (EIXO III)

Para a verificação do *EIXO* quanto ao dimensionamento, baseou-se nas dimensões fornecidas pelo fabricante da máquina e no *MÉTODO* apresentado na referência [28].

Os *DIAGRAMAS DOS ESFORÇOS SOLICITANTES*, para cada *CARREGAMENTO*, foram obtidos através do *PROGRAMA COMPUTACIONAL STRESS*, apresentado no item 6.4, que forneceu os esforços solicitantes nos nós de cada elemento e para cada *CARREGAMENTO*.

Na sequência, apresentam-se os *RESULTADOS CALCULADOS PELO PROGRAMA* e os *DIAGRAMAS DOS ESFORÇOS SOLICITANTES* do eixo nos diversos carregamentos.

STRUCTURE EIXO INTERMEDIARIO

MEMBER FORCES FOR MEMBER 1

| LOAD | JOINT | AXIAL FORCE | SHEAR FORCE Y | SHEAR FORCE Z | TORSION MOMENT | MOMENT Y | MOMENT Z |
|------|-------|----------------|------------------|------------------|-------------------|-------------|-------------|
| 1 | 1 | -76.500 | -2989.246 | 542.678 | 0.00 | -0.01 | -0.17 |
| 1 | 2 | 76.500 | 2989.246 | -542.678 | -0.00 | -8248.69 | -45436.35 |
| 2 | 1 | -86.200 | -3275.827 | 597.919 | -0.00 | -0.02 | -0.23 |
| 2 | 2 | 86.200 | 3275.827 | -597.919 | 0.00 | -9088.35 | -49792.33 |
| 3 | 1 | -89.900 | -3425.067 | 625.018 | 0.00 | -0.03 | -0.20 |
| 3 | 2 | 89.900 | 3425.067 | -625.018 | -0.00 | -9500.25 | -52060.81 |
| 4 | 1 | -92.199 | -3531.487 | 643.529 | 0.00 | -0.03 | -0.25 |
| 4 | 2 | 92.199 | 3531.487 | -643.529 | -0.00 | -9781.61 | -53678.34 |
| 5 | 1 | -93.899 | -3649.855 | 663.294 | -0.00 | -0.03 | -0.19 |
| 5 | 2 | 93.899 | 3649.855 | -663.294 | 0.00 | -10082.02 | -55477.59 |
| 6 | 1 | -95.100 | -3776.502 | 683.534 | -0.00 | -0.03 | -0.26 |
| 6 | 2 | 95.100 | 3776.502 | -683.534 | 0.00 | -10389.67 | -57402.56 |
| 7 | 1 | -95.500 | -3952.293 | 709.947 | -0.00 | -0.03 | -0.30 |
| 7 | 2 | 95.500 | 3952.293 | -709.947 | 0.00 | -10791.16 | -60074.53 |
| 8 | 1 | -94.300 | -4127.178 | 733.861 | 0.00 | -0.03 | -0.22 |
| 8 | 2 | 94.300 | 4127.178 | -733.861 | -0.00 | -11154.65 | -62732.86 |
| 9 | 1 | -89.100 | -4387.509 | 765.023 | 0.00 | -0.04 | -0.23 |
| 9 | 2 | 89.100 | 4387.509 | -765.023 | -0.00 | -11628.30 | -66689.89 |
| 10 | 1 | -63.600 | -4913.376 | 807.689 | 0.00 | -0.02 | -0.26 |
| 10 | 2 | 63.600 | 4913.376 | -807.689 | -0.00 | -12276.84 | -74683.04 |
| 11 | 1 | -57.800 | -4992.625 | 811.286 | 0.00 | -0.02 | -0.32 |
| 11 | 2 | 57.800 | 4992.625 | -811.286 | -0.00 | -12331.52 | -75887.56 |
| 12 | 1 | -39.000 | -5201.985 | 816.492 | 0.00 | -0.02 | -0.39 |
| 12 | 2 | 39.000 | 5201.985 | -816.492 | -0.00 | -12410.66 | -79069.76 |
| 13 | 1 | -31.200 | -5274.979 | 816.694 | 0.00 | -0.03 | -0.25 |
| 13 | 2 | 31.200 | 5274.979 | -816.694 | -0.00 | -12413.72 | -80179.42 |
| 14 | 1 | -22.900 | -5347.656 | 815.865 | -0.00 | -0.02 | -0.25 |
| 14 | 2 | 22.900 | 5347.656 | -815.865 | 0.00 | -12401.13 | -81284.10 |
| 15 | 1 | 37.299 | -5742.831 | 792.045 | 0.00 | -0.01 | -0.35 |
| 15 | 2 | -37.299 | 5742.831 | -792.045 | -0.00 | -12039.07 | -87290.64 |
| 16 | 1 | 58.399 | -5848.063 | 778.875 | 0.00 | -0.01 | -0.42 |
| 16 | 2 | -58.399 | 5848.063 | -778.875 | -0.00 | -11838.89 | -88890.12 |

MEMBER FORCES FOR MEMBER 2

| LOAD | JOINT | AXIAL FORCE | SHEAR FORCE Y | SHEAR FORCE Z | TORSION MOMENT | MOMENT Y | MOMENT Z |
|------|-------|----------------|------------------|------------------|-------------------|-------------|-------------|
| 1 | 2 | -76.500 | -288.133 | -231.824 | 29046.00 | 8248.67 | 45436.15 |
| 1 | 3 | 76.500 | 288.133 | 231.824 | -29046.00 | -3786.06 | -50982.71 |
| 2 | 2 | -86.200 | -312.213 | -251.883 | 31868.00 | 9088.33 | 49792.15 |
| 2 | 3 | 86.200 | 312.213 | 251.883 | -31868.00 | -4239.58 | -55802.26 |
| 3 | 2 | -89.900 | -326.647 | -263.484 | 33318.00 | 9500.21 | 52060.60 |
| 3 | 3 | 89.900 | 326.647 | 263.484 | -33318.00 | -4428.14 | -58348.57 |
| 4 | 2 | -92.200 | -337.757 | -272.274 | 34343.00 | 9781.58 | 53678.06 |

| | | | | | | | |
|----|---|---------|----------|----------|-----------|----------|------------|
| 4 | 3 | 92.200 | 337.757 | 272.274 | -34343.00 | -4540.31 | -60179.89 |
| 5 | 2 | -93.900 | -351.030 | -282.608 | 35473.00 | 10081.99 | 55477.39 |
| 5 | 3 | 93.900 | 351.030 | 282.608 | -35473.00 | -4641.78 | -62234.74 |
| 6 | 2 | -95.100 | -366.280 | -294.269 | 36671.00 | 10389.65 | 57402.32 |
| 6 | 3 | 95.100 | 366.280 | 294.269 | -36671.00 | -4724.96 | -64453.21 |
| 7 | 2 | -95.500 | -389.381 | -311.755 | 38313.00 | 10791.14 | 60074.28 |
| 7 | 3 | 95.500 | 389.381 | 311.755 | -38313.00 | -4789.86 | -67569.87 |
| 8 | 2 | -94.300 | -414.859 | -330.641 | 39919.00 | 11154.61 | 62732.50 |
| 8 | 3 | 94.300 | 414.859 | 330.641 | -39919.00 | -4789.77 | -70718.56 |
| 9 | 2 | -89.100 | -457.810 | -361.781 | 42256.00 | 11628.26 | 66689.51 |
| 9 | 3 | 89.100 | 457.810 | 361.781 | -42256.00 | -4663.98 | -75502.37 |
| 10 | 2 | -63.600 | -567.072 | -438.612 | 46737.00 | 12276.81 | 74682.68 |
| 10 | 3 | 63.600 | 567.072 | 438.612 | -46737.00 | -3833.52 | -85598.82 |
| 11 | 2 | -57.800 | -586.592 | -452.014 | 47378.00 | 12331.47 | 75887.25 |
| 11 | 3 | 57.800 | 586.592 | 452.014 | -47378.00 | -3630.20 | -87179.15 |
| 12 | 2 | -39.000 | -643.133 | -490.710 | 49021.00 | 12410.63 | 79069.48 |
| 12 | 3 | 39.000 | 643.133 | 490.710 | -49021.00 | -2964.46 | -91449.79 |
| 13 | 2 | -31.200 | -664.770 | -505.308 | 49575.00 | 12413.69 | 80179.15 |
| 13 | 3 | 31.200 | 664.770 | 505.308 | -49575.00 | -2686.50 | -92975.98 |
| 14 | 2 | -22.900 | -687.257 | -520.436 | 50114.00 | 12401.10 | 81283.75 |
| 14 | 3 | 22.900 | 687.257 | 520.436 | -50114.00 | -2382.70 | -94513.45 |
| 15 | 2 | 37.299 | -831.176 | -616.256 | 52815.00 | 12039.04 | 87290.32 |
| 15 | 3 | -37.299 | 831.176 | 616.256 | -52815.00 | -176.12 | -103290.45 |
| 16 | 2 | 58.399 | -877.212 | -646.526 | 53452.00 | 11838.88 | 88889.75 |
| 16 | 3 | -58.399 | 877.212 | 646.526 | -53452.00 | 606.74 | -105776.09 |

MEMBER FORCES FOR MEMBER 3

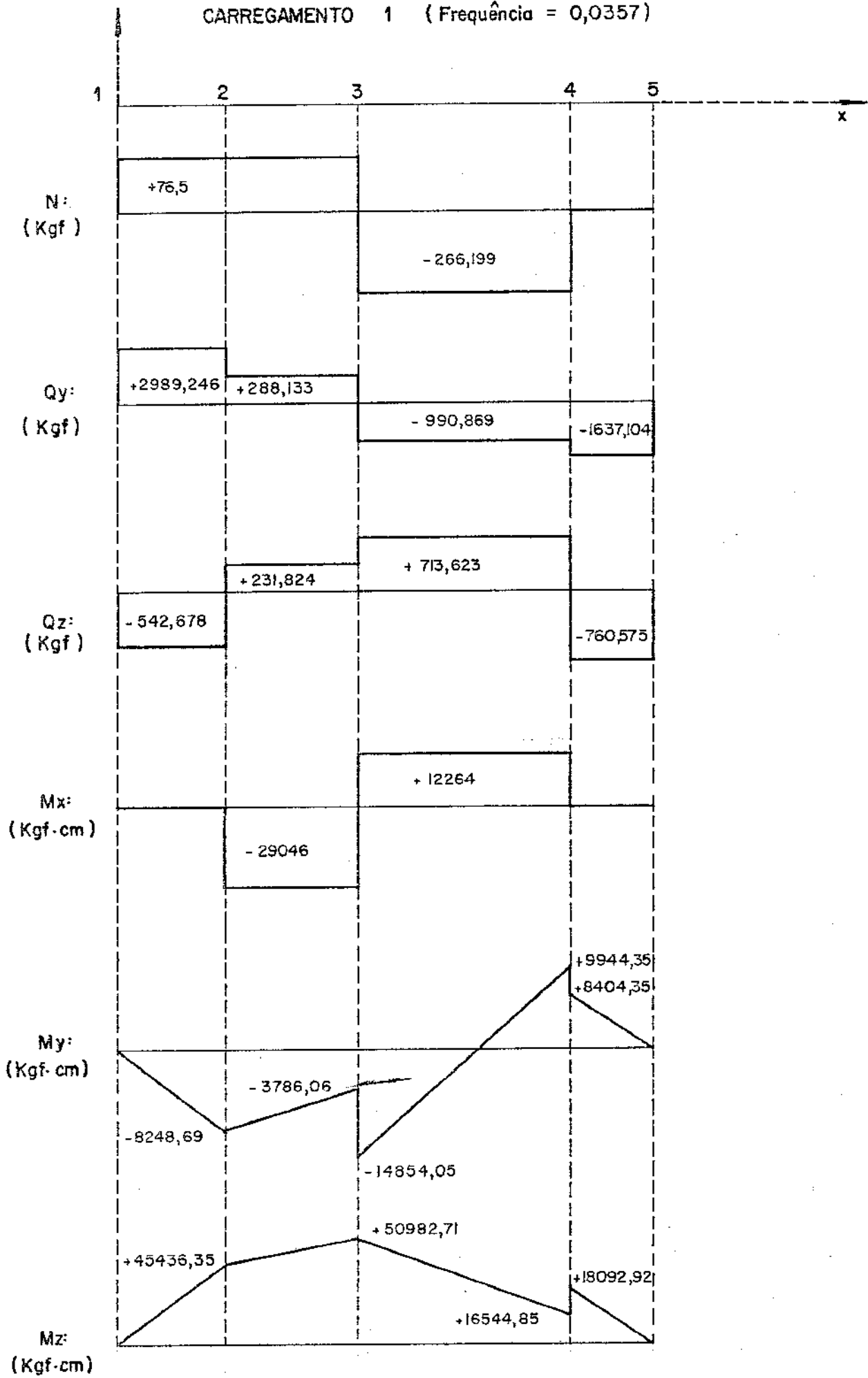
| LOAD | JOINT | AXIAL FORCE | SHEAR FORCE Y | SHEAR FORCE Z | TORSION MOMENT | MOMENT Y | MOMENT Z |
|------|-------|-------------|---------------|---------------|----------------|----------|-----------|
| 1 | 3 | 266.199 | 990.869 | -713.623 | -12264.00 | 14854.05 | 50982.57 |
| 1 | 4 | -266.199 | -990.869 | 713.623 | 12264.00 | 9944.35 | -16549.85 |
| 2 | 3 | 288.399 | 1085.888 | -778.482 | -13287.99 | 16338.56 | 55802.08 |
| 2 | 4 | -288.399 | -1085.888 | 778.482 | 13287.99 | 10713.70 | -18067.47 |
| 3 | 3 | 301.799 | 1135.348 | -814.184 | -13901.99 | 17080.12 | 58348.40 |
| 3 | 4 | -301.799 | -1135.348 | 814.184 | 13901.99 | 11212.79 | -18895.05 |
| 4 | 3 | 311.999 | 1170.636 | -840.473 | -14375.99 | 17594.30 | 60179.78 |
| 4 | 4 | -311.999 | -1170.636 | 840.473 | 14375.99 | 11612.15 | -19500.16 |
| 5 | 3 | 324.299 | 1209.864 | -870.509 | -14941.00 | 18149.75 | 62234.64 |
| 5 | 4 | -324.299 | -1209.864 | 870.509 | 14941.00 | 12100.44 | -20191.87 |
| 6 | 3 | 338.399 | 1251.818 | -903.769 | -15591.00 | 18727.94 | 64453.06 |
| 6 | 4 | -338.399 | -1251.818 | 903.769 | 15591.00 | 12678.03 | -20952.39 |
| 7 | 3 | 359.799 | 1310.026 | -951.854 | -16577.00 | 19496.83 | 67569.64 |
| 7 | 4 | -359.799 | -1310.026 | 951.854 | 16577.00 | 13580.11 | -22046.23 |
| 8 | 3 | 383.399 | 1367.944 | -1002.141 | -17664.00 | 20218.74 | 70716.37 |
| 8 | 4 | -383.399 | -1367.944 | 1002.141 | 17664.00 | 14605.67 | -23152.32 |
| 9 | 3 | 423.199 | 1454.101 | -1081.980 | -19498.00 | 21209.96 | 75501.96 |
| 9 | 4 | -423.199 | -1454.101 | 1081.980 | 19498.00 | 16388.87 | -24971.96 |
| 10 | 3 | 524.499 | 1628.043 | -1265.413 | -24162.00 | 22830.50 | 85598.53 |
| 10 | 4 | -524.499 | -1628.043 | 1265.413 | 24162.00 | 21142.60 | -29024.01 |
| 11 | 3 | 542.599 | 1654.202 | -1296.115 | -24997.99 | 23022.17 | 87178.90 |
| 11 | 4 | -542.599 | -1654.202 | 1296.115 | 24997.99 | 22017.85 | -29695.37 |
| 12 | 3 | 595.099 | 1723.350 | -1382.109 | -27416.00 | 23444.44 | 91449.65 |
| 12 | 4 | -595.099 | -1723.350 | 1382.109 | 27416.00 | 24583.85 | -31563.23 |
| 13 | 3 | 615.099 | 1747.434 | -1413.908 | -28338.00 | 23562.48 | 92975.76 |
| 13 | 4 | -615.099 | -1747.434 | 1413.908 | 28338.00 | 25570.83 | -32252.42 |
| 14 | 3 | 635.899 | 1771.459 | -1446.536 | -29298.00 | 23659.67 | 94513.12 |

| | | | | | | | |
|----|---|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| 14 | 4 | -635.899 | -1771.459 | 1446.536 | 29298.00 | 26607.46 | -32954.91 |
| 15 | 3 | 769.599 | 1901.707 | -1645.656 | -35456.00 | 23827.10 | 103290.32 |
| 15 | 4 | -769.599 | -1901.707 | 1645.656 | 35456.00 | 33359.43 | -37205.99 |
| 16 | 3 | 812.299 | 1936.370 | -1706.325 | -37425.00 | 23742.24 | 105775.87 |
| 16 | 4 | -812.299 | -1936.370 | 1706.325 | 37425.00 | 35552.56 | -38487.01 |

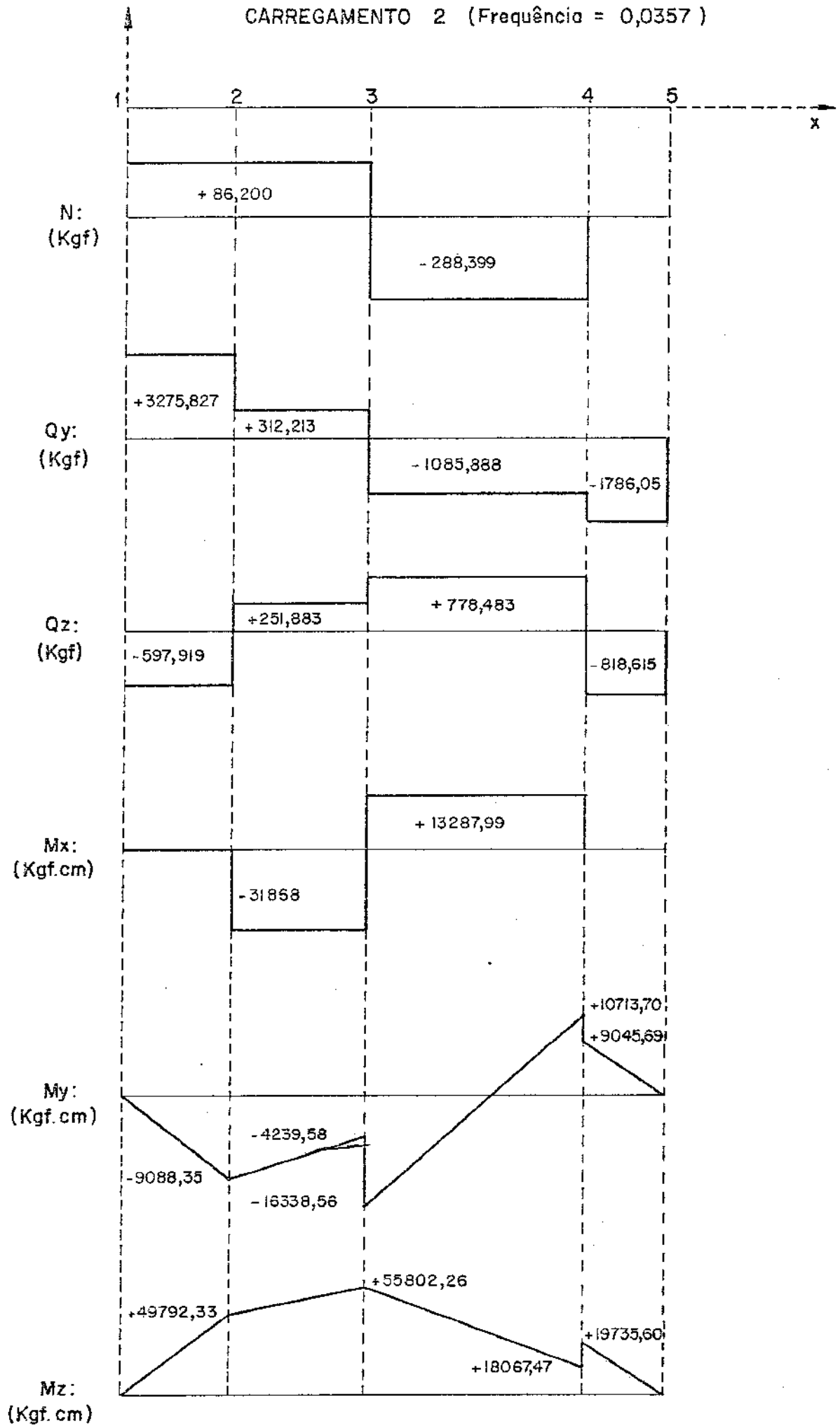
MEMBER FORCES FOR MEMBER 4

| LOAD | JOINT | AXIAL FORCE | SHEAR FORCE Y | SHEAR FORCE Z | TORSION MOMENT | MOMENT Y | MOMENT Z |
|------|-------|----------------|------------------|------------------|-------------------|-------------|-------------|
| 1 | 4 | 0.000 | 1637.104 | 760.575 | 0.00 | -8404.35 | 18089.92 |
| 1 | 5 | -0.000 | -1637.104 | -760.575 | -0.00 | 0.00 | 0.06 |
| 2 | 4 | 0.000 | 1786.050 | 818.615 | 0.00 | -9045.69 | 19735.60 |
| 2 | 5 | -0.000 | -1786.050 | -818.615 | 0.00 | 0.01 | 0.22 |
| 3 | 4 | 0.000 | 1867.893 | 856.814 | 0.00 | -9467.79 | 20640.10 |
| 3 | 5 | -0.000 | -1867.893 | -856.814 | 0.00 | 0.00 | 0.08 |
| 4 | 4 | 0.000 | 1928.067 | 887.525 | 0.00 | -9807.14 | 21305.13 |
| 4 | 5 | -0.000 | -1928.067 | -887.525 | 0.00 | 0.00 | -0.02 |
| 5 | 4 | 0.000 | 1997.123 | 925.288 | 0.00 | -10224.43 | 22067.98 |
| 5 | 5 | -0.000 | -1997.123 | -925.288 | -0.00 | 0.01 | 0.19 |
| 6 | 4 | 0.000 | 2073.275 | 970.229 | 0.00 | -10721.02 | 22909.52 |
| 6 | 5 | -0.000 | -2073.275 | -970.229 | -0.00 | 0.01 | 0.13 |
| 7 | 4 | 0.000 | 2183.458 | 1040.643 | 0.00 | -11499.09 | 24127.16 |
| 7 | 5 | -0.000 | -2183.458 | -1040.643 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 8 | 4 | 0.000 | 2298.687 | 1121.056 | 0.00 | -12387.66 | 25400.39 |
| 8 | 5 | -0.000 | -2298.687 | -1121.056 | -0.00 | 0.00 | 0.06 |
| 9 | 4 | 0.000 | 2481.446 | 1261.618 | 0.00 | -13940.86 | 27419.93 |
| 9 | 5 | -0.000 | -2481.446 | -1261.618 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| 10 | 4 | 0.000 | 2901.211 | 1638.788 | 0.00 | -18108.58 | 32058.16 |
| 10 | 5 | -0.000 | -2901.211 | -1638.788 | 0.00 | 0.00 | 0.18 |
| 11 | 4 | 0.000 | 2971.382 | 1708.585 | 0.00 | -18879.84 | 32833.50 |
| 11 | 5 | -0.000 | -2971.382 | -1708.585 | 0.00 | -0.00 | 0.22 |
| 12 | 4 | 0.000 | 3167.965 | 1913.296 | 0.00 | -21141.87 | 35005.54 |
| 12 | 5 | -0.000 | -3167.965 | -1913.296 | 0.00 | -0.01 | 0.41 |
| 13 | 4 | 0.000 | 3240.601 | 1992.296 | 0.00 | -22014.83 | 35808.38 |
| 13 | 5 | 0.000 | -3240.601 | -1992.296 | 0.00 | -0.00 | 0.21 |
| 14 | 4 | 0.000 | 3315.241 | 2075.068 | 0.00 | -22929.45 | 36633.14 |
| 14 | 5 | -0.000 | -3315.241 | -2075.068 | 0.00 | -0.02 | 0.22 |
| 15 | 4 | 0.000 | 3769.890 | 2616.153 | 0.00 | -28908.41 | 41656.95 |
| 15 | 5 | -0.000 | -3769.890 | -2616.153 | 0.00 | -0.04 | 0.27 |
| 16 | 4 | 0.000 | 3908.252 | 2792.183 | 0.00 | -30853.57 | 43185.92 |
| 16 | 5 | -0.000 | -3908.252 | -2792.183 | 0.00 | -0.00 | 0.20 |

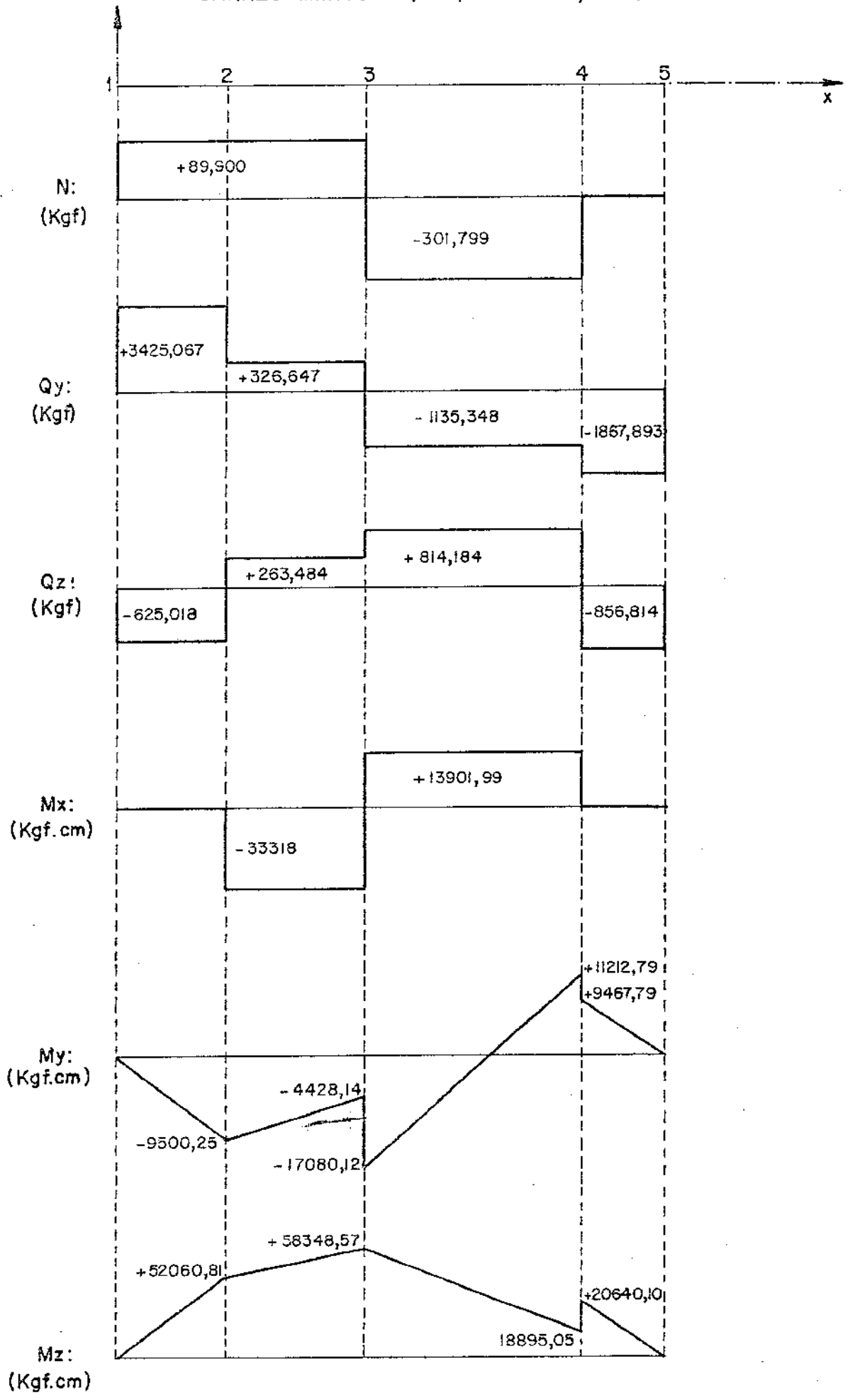
CARREGAMENTO 1 (Frequência = 0,0357)

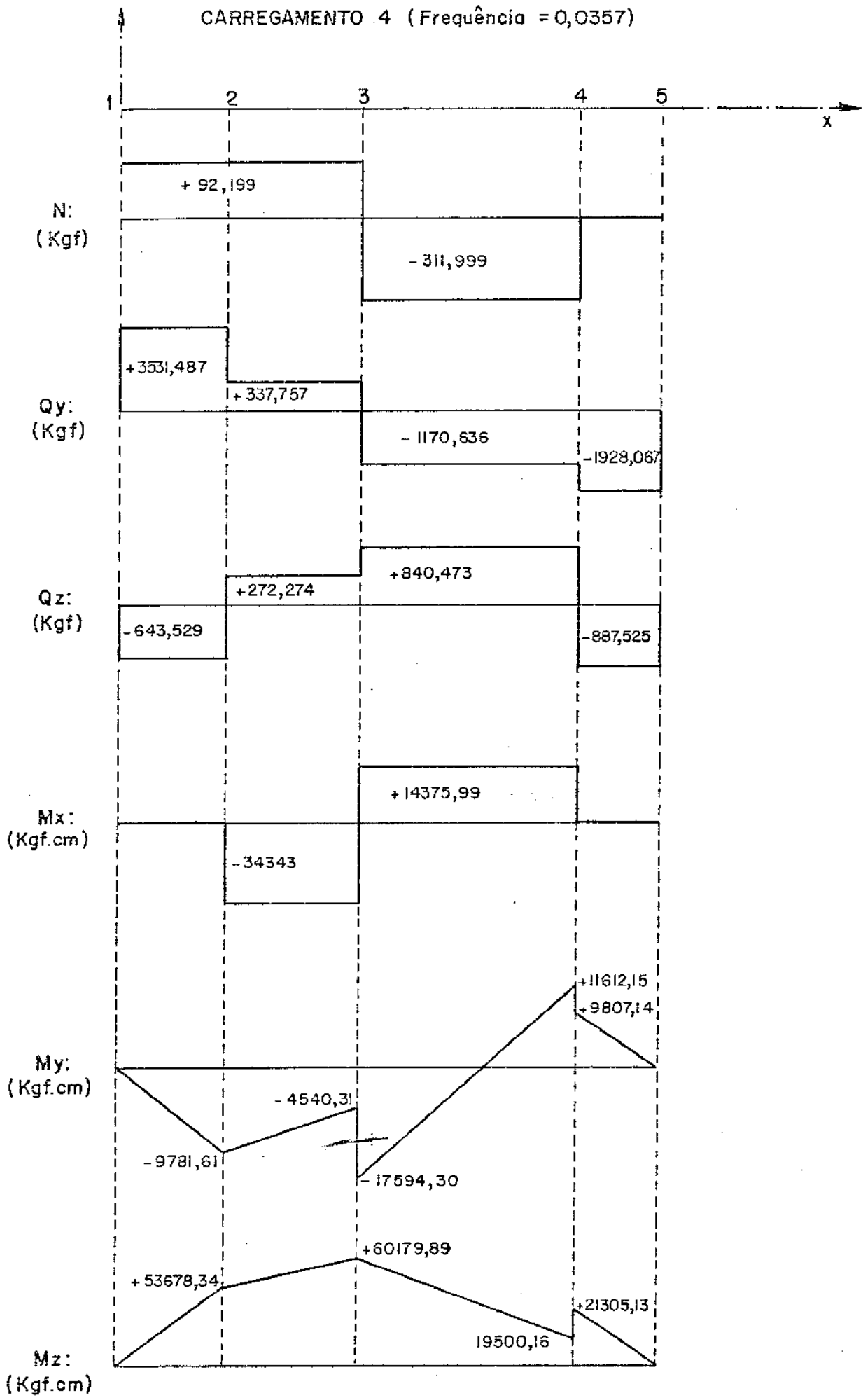


CARREGAMENTO 2 (Frequência = 0,0357)

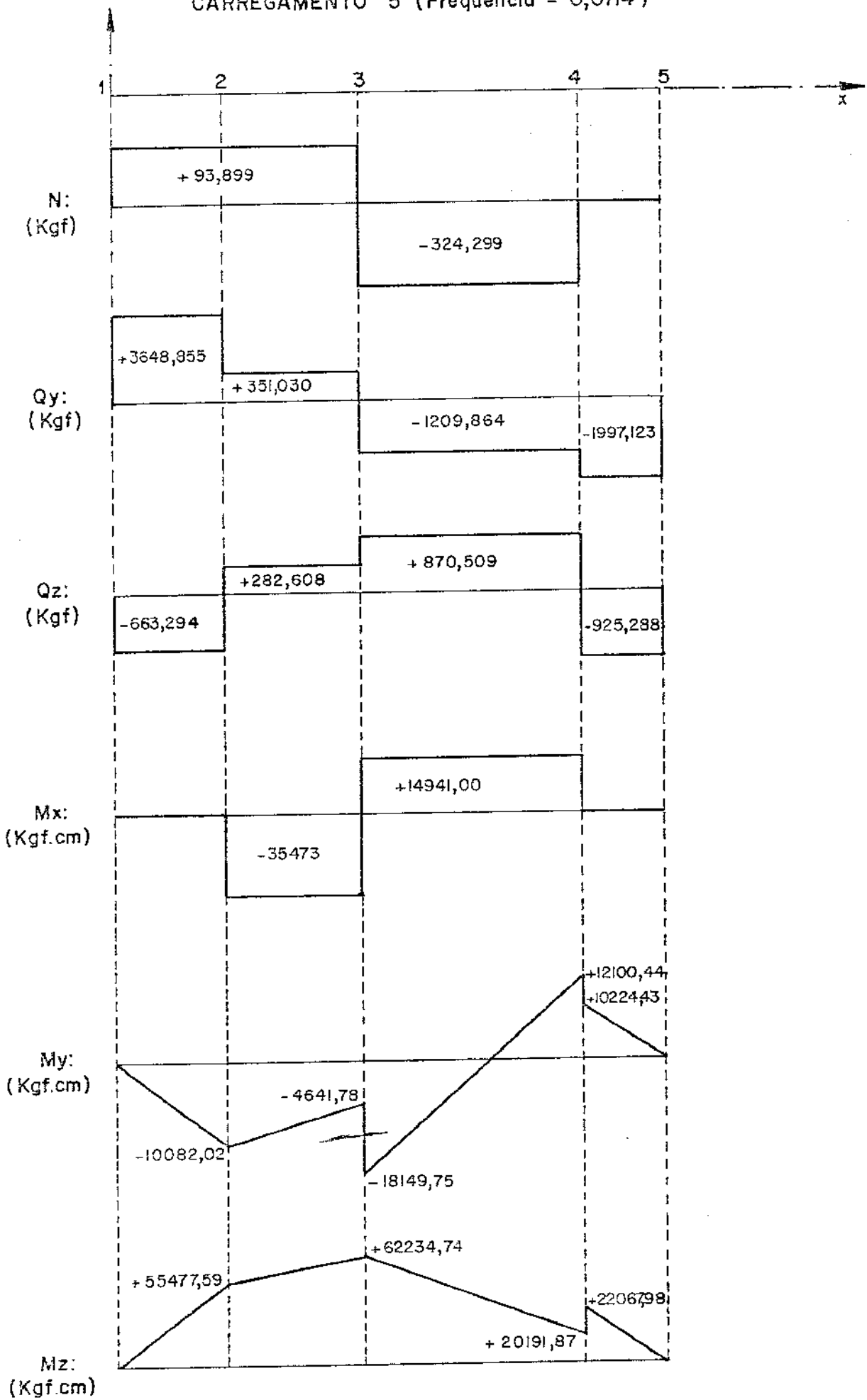


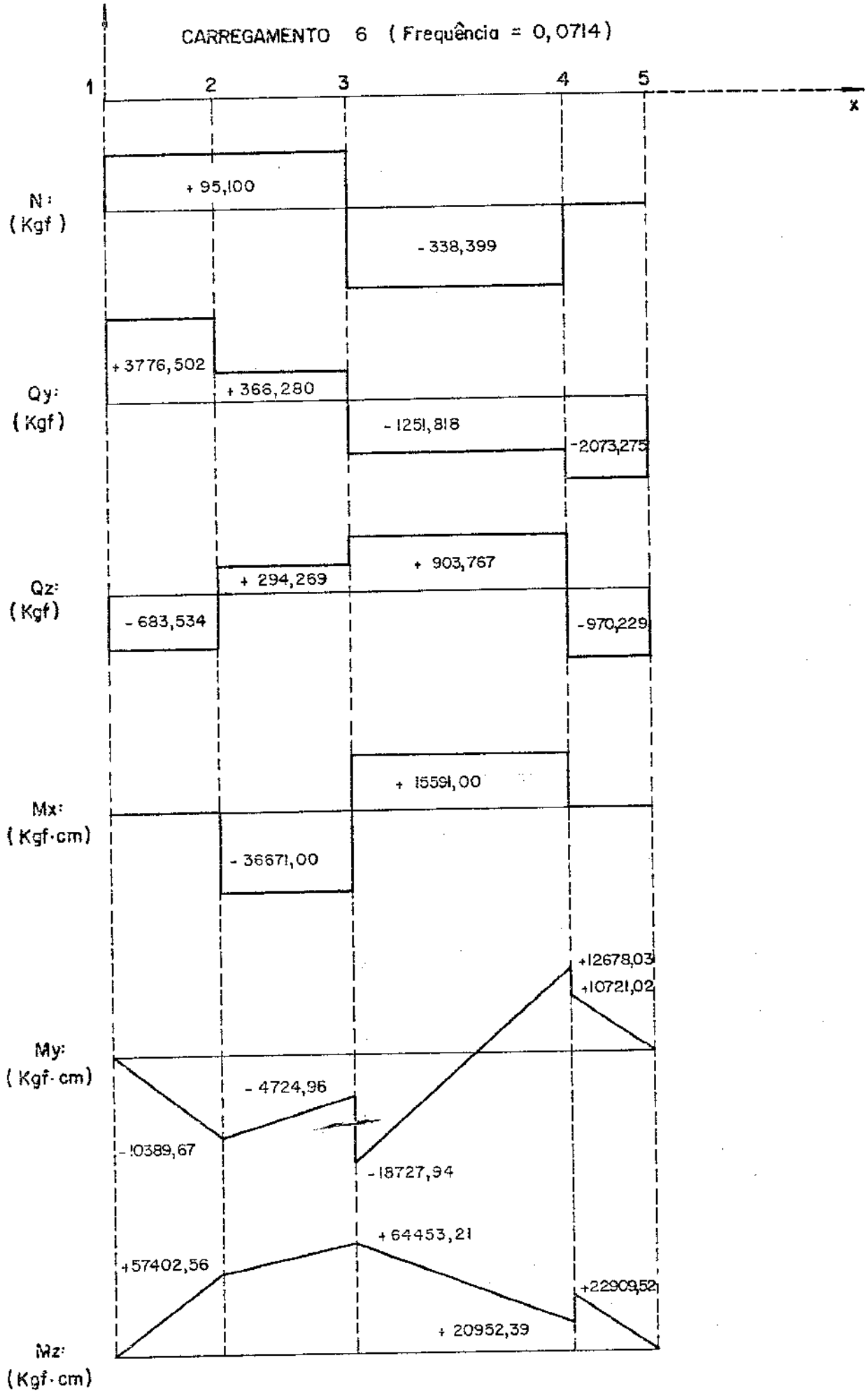
CARREGAMENTO 3 (Frequência = 0,0357)

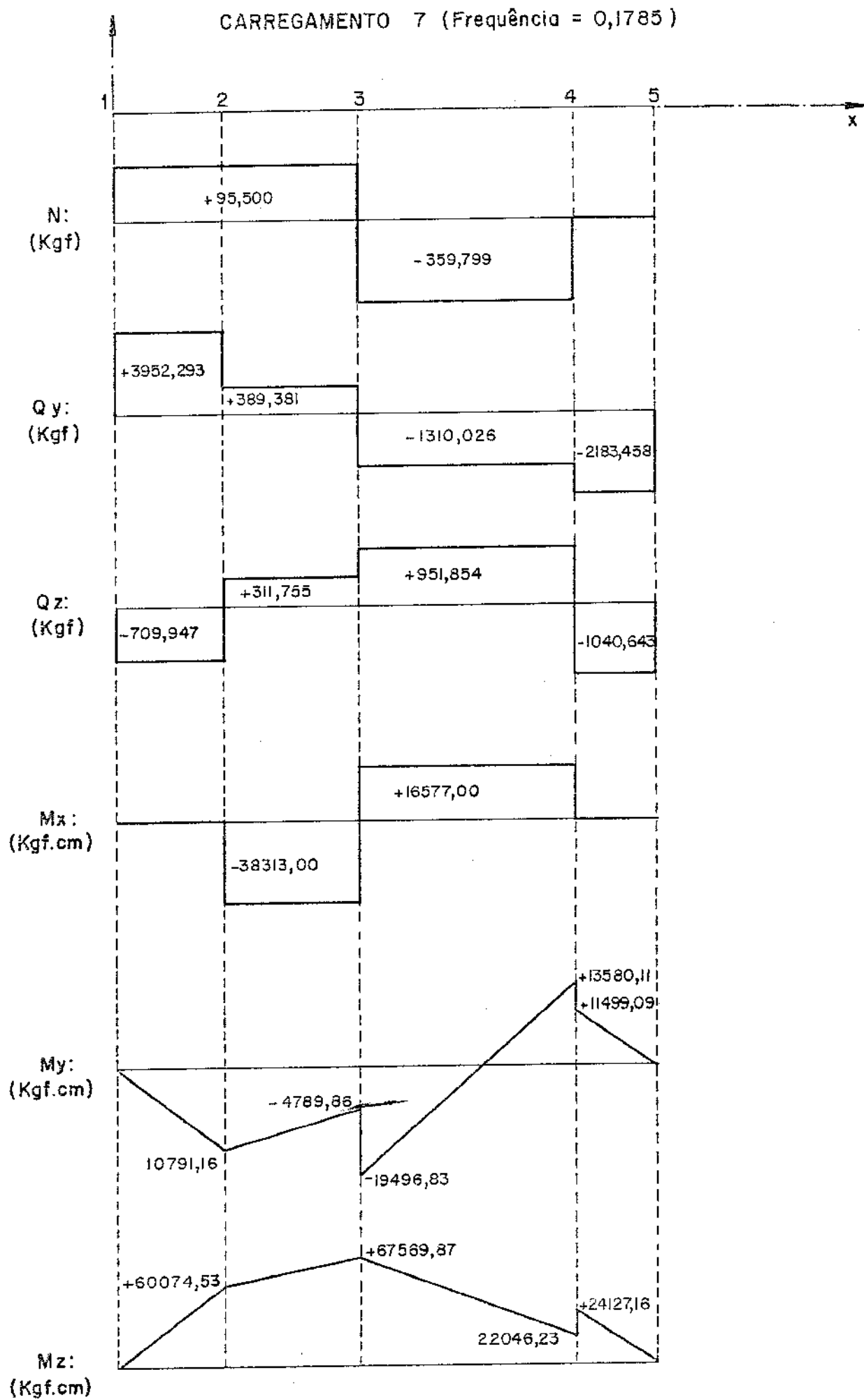


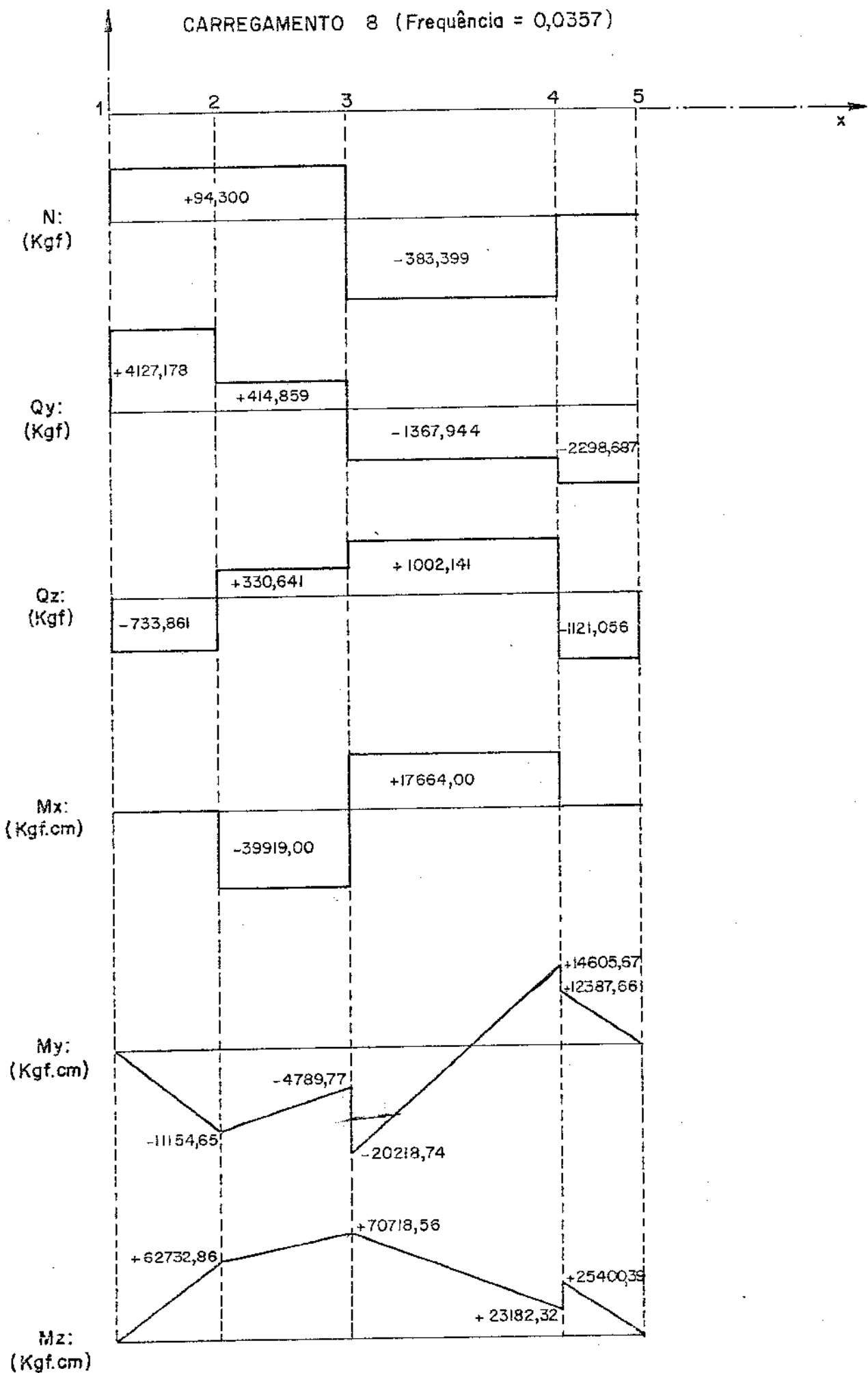


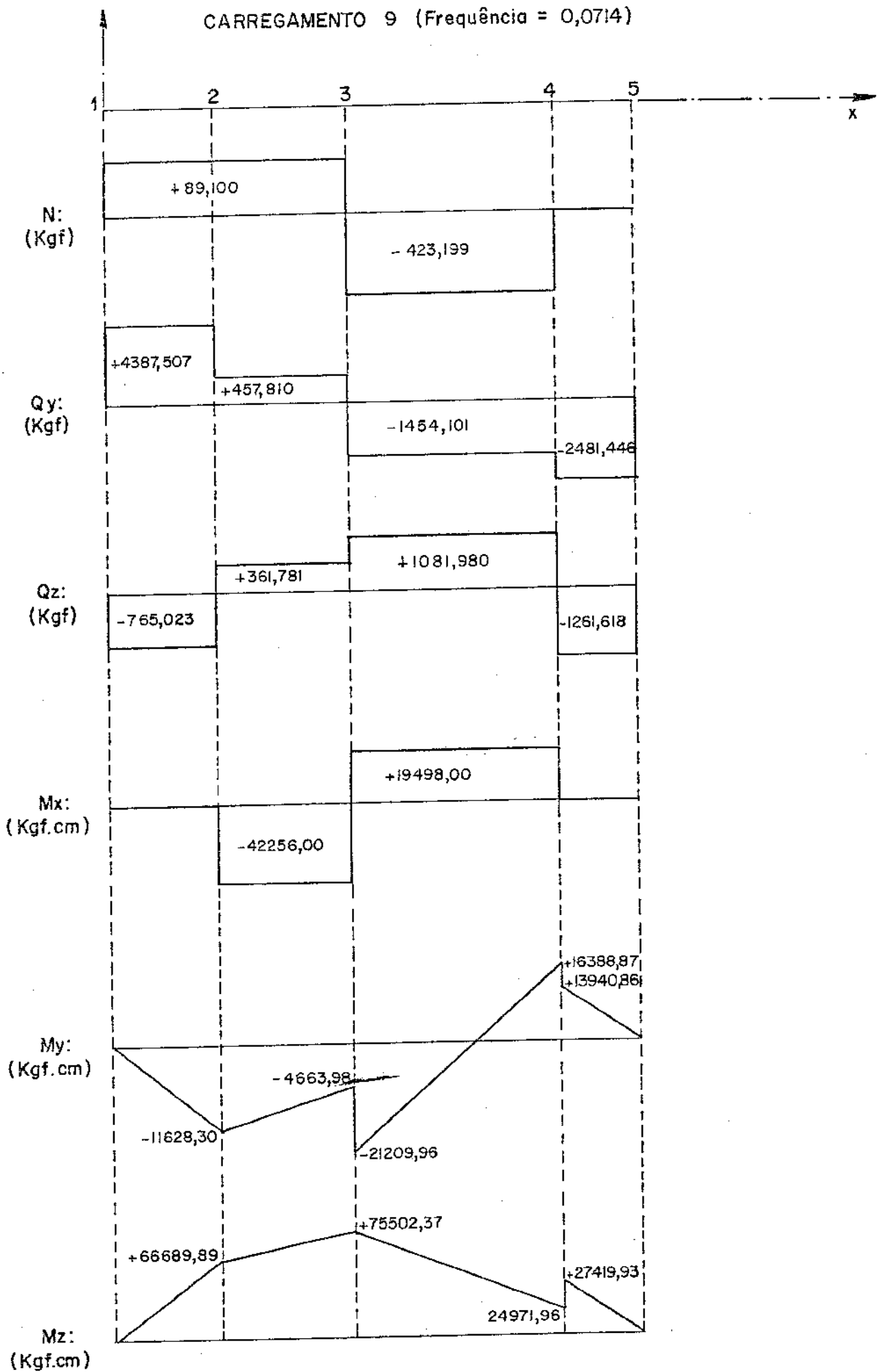
CARRÉGAMENTO 5 (Frequência = 0,0714)

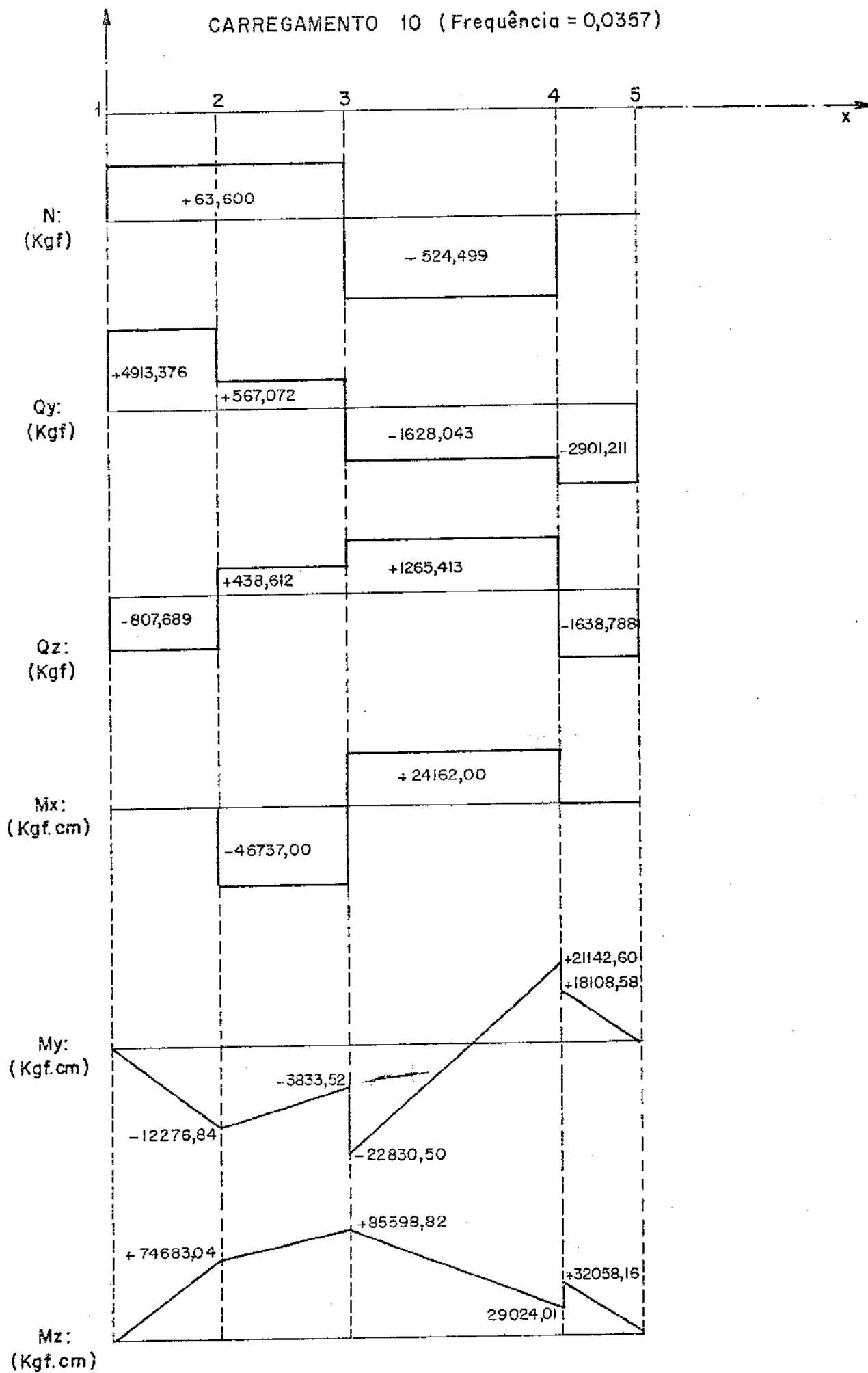


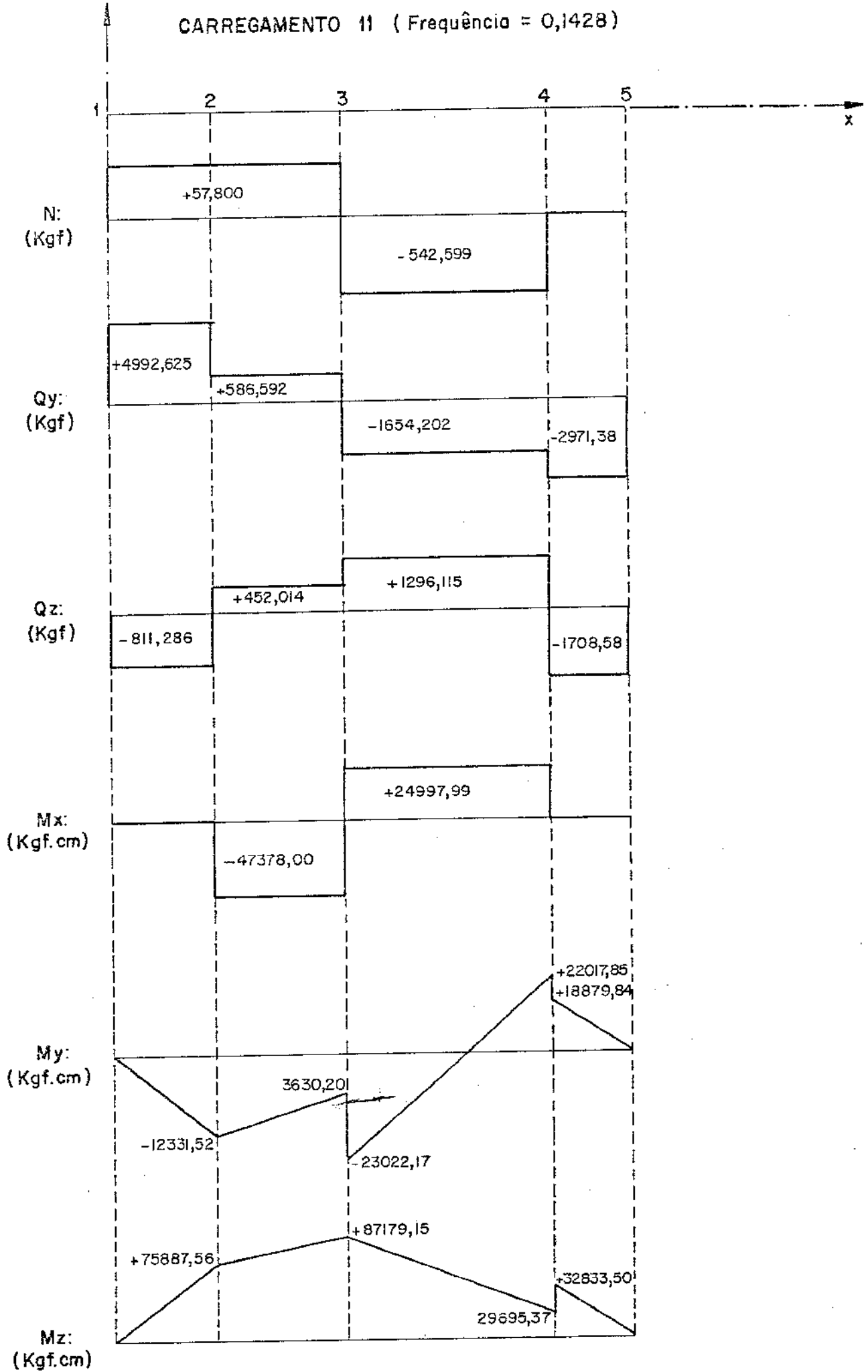




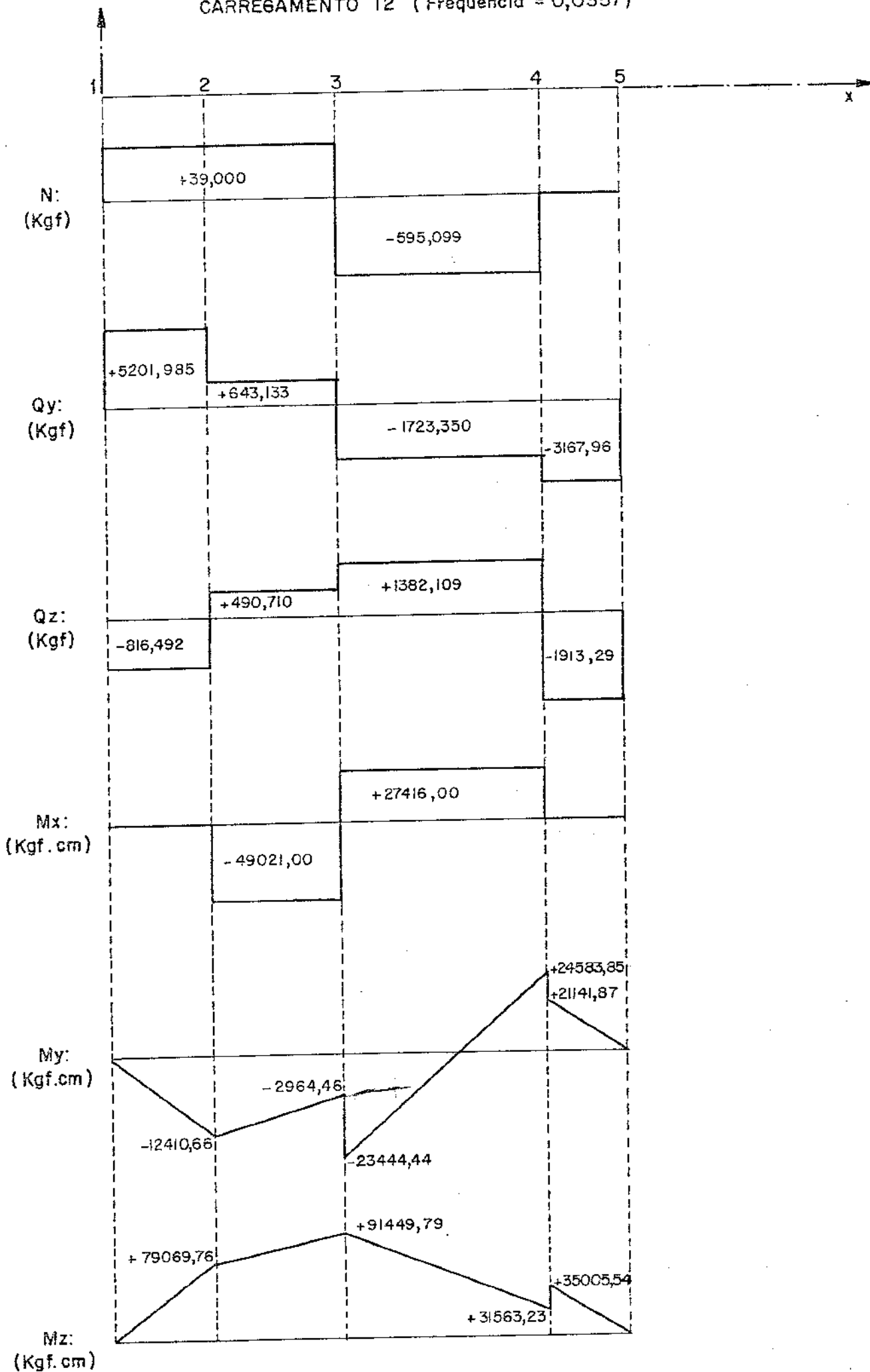


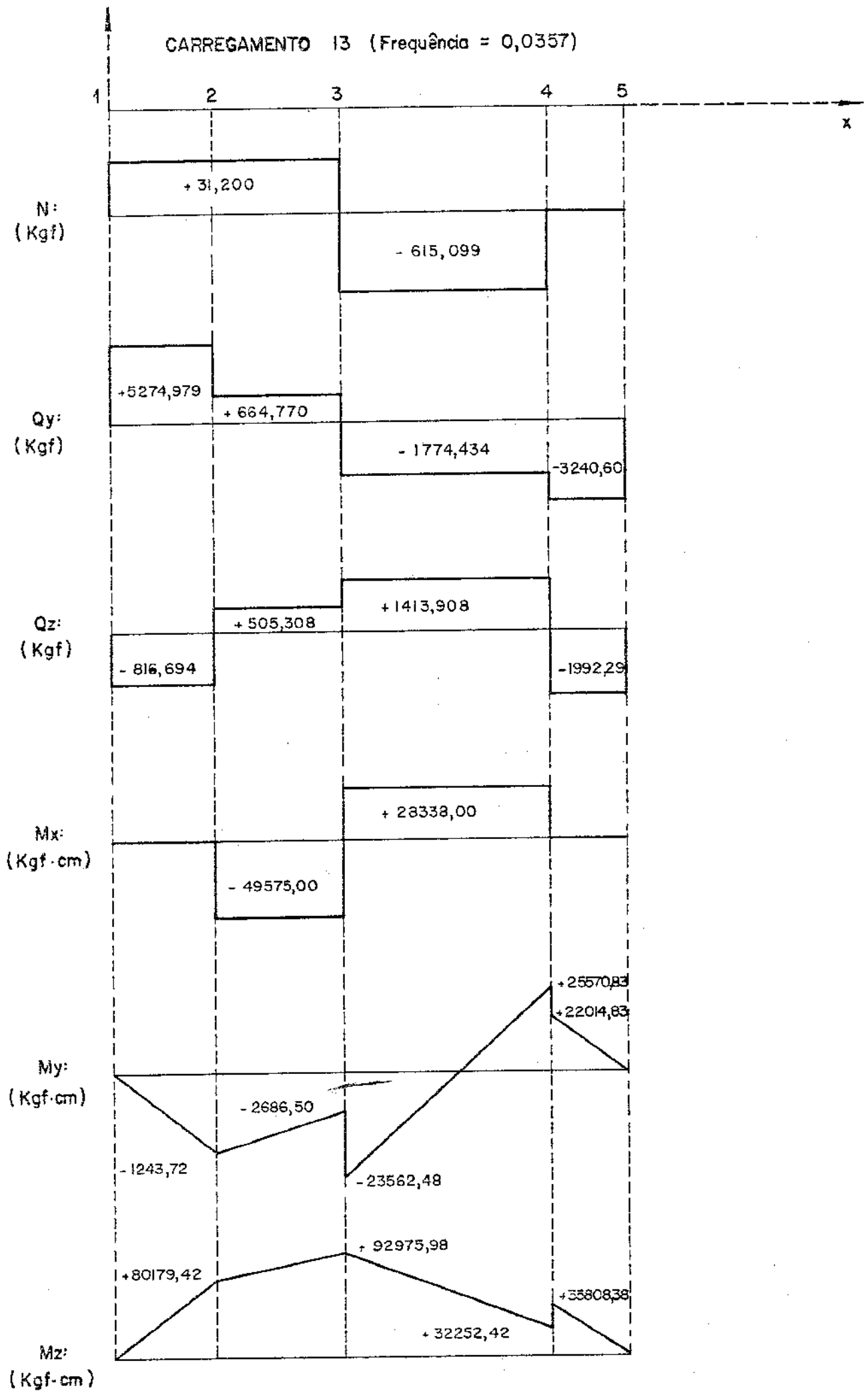




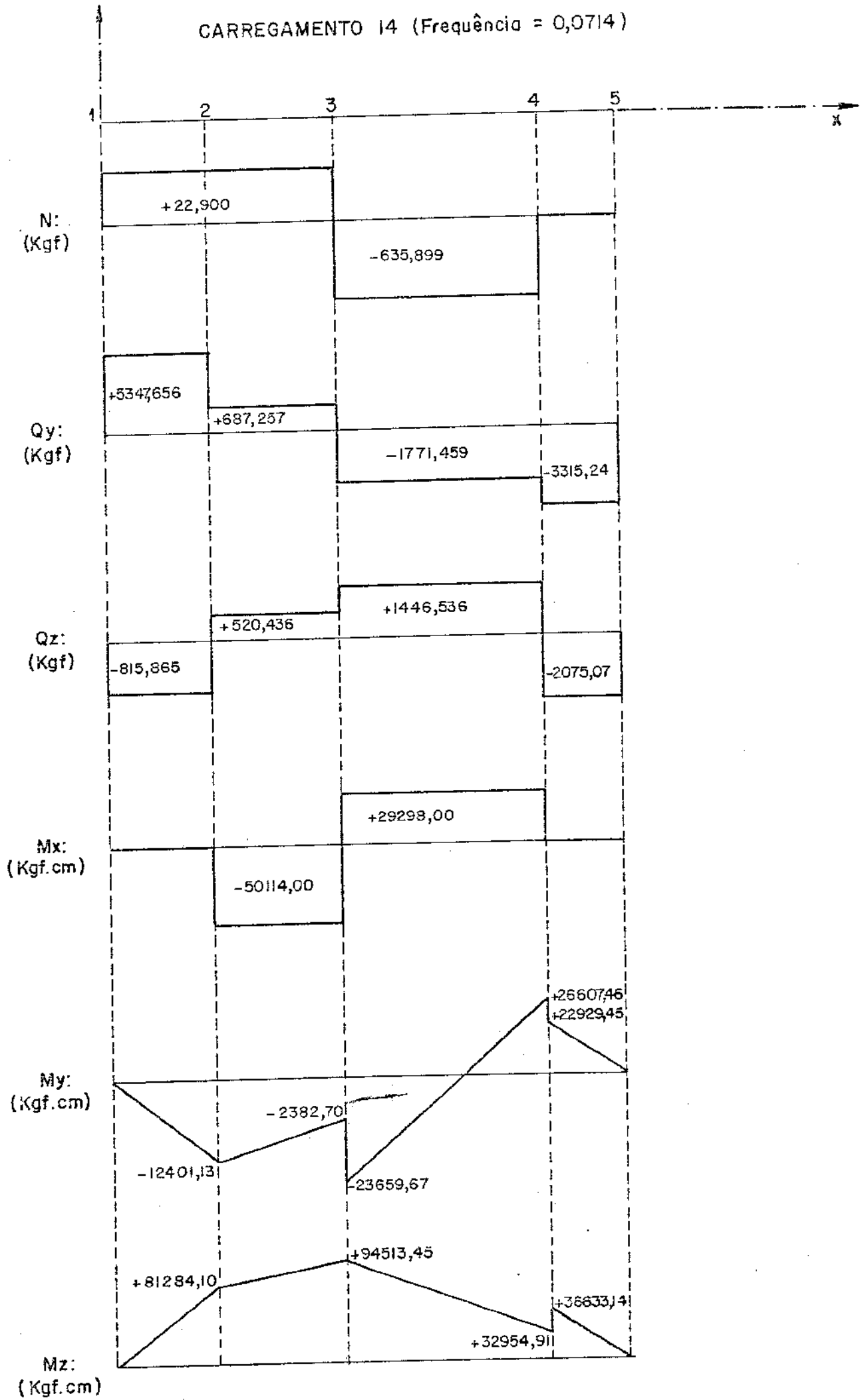


CARREGAMENTO 12 (Frequência = 0,0357)

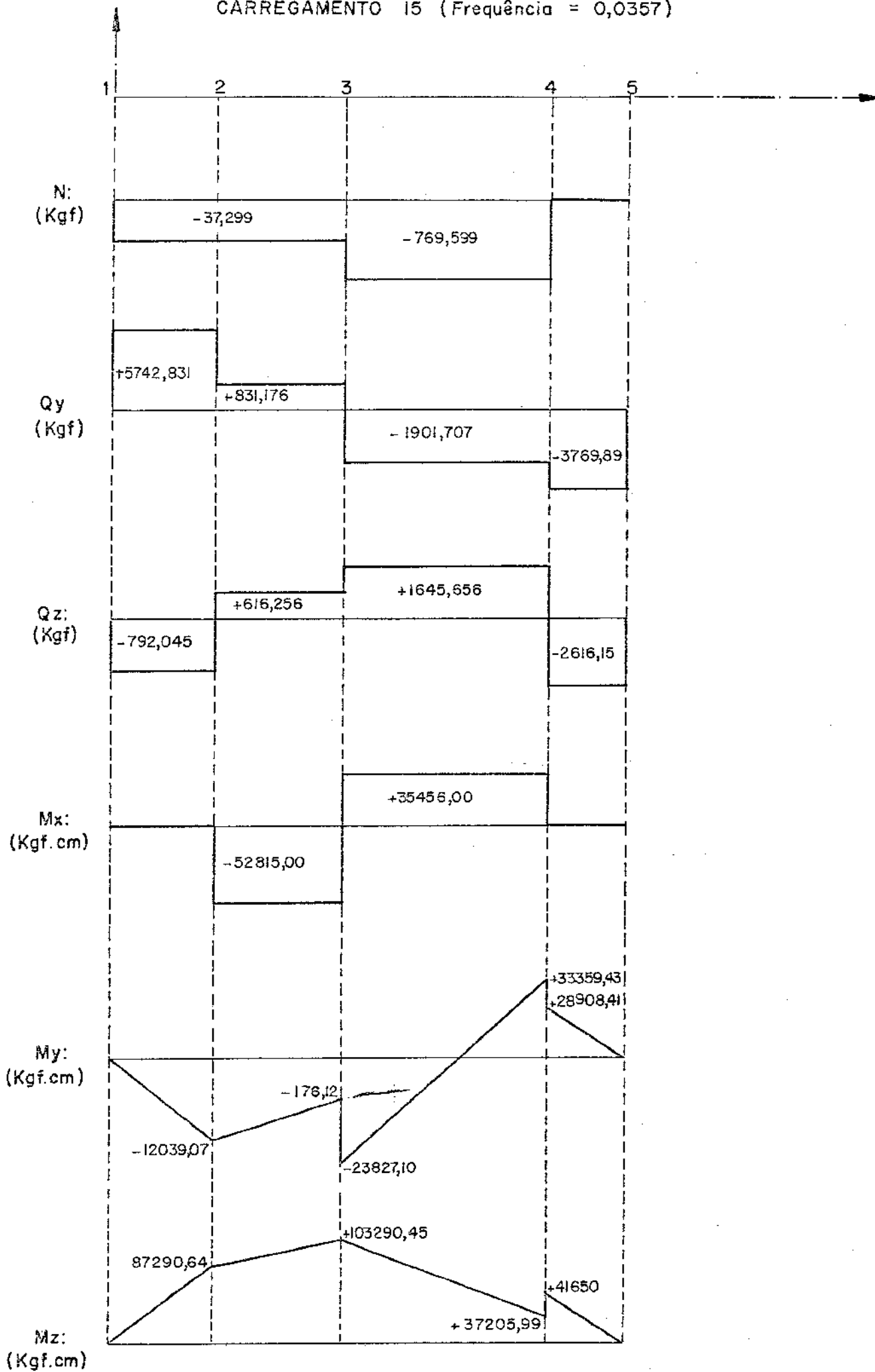


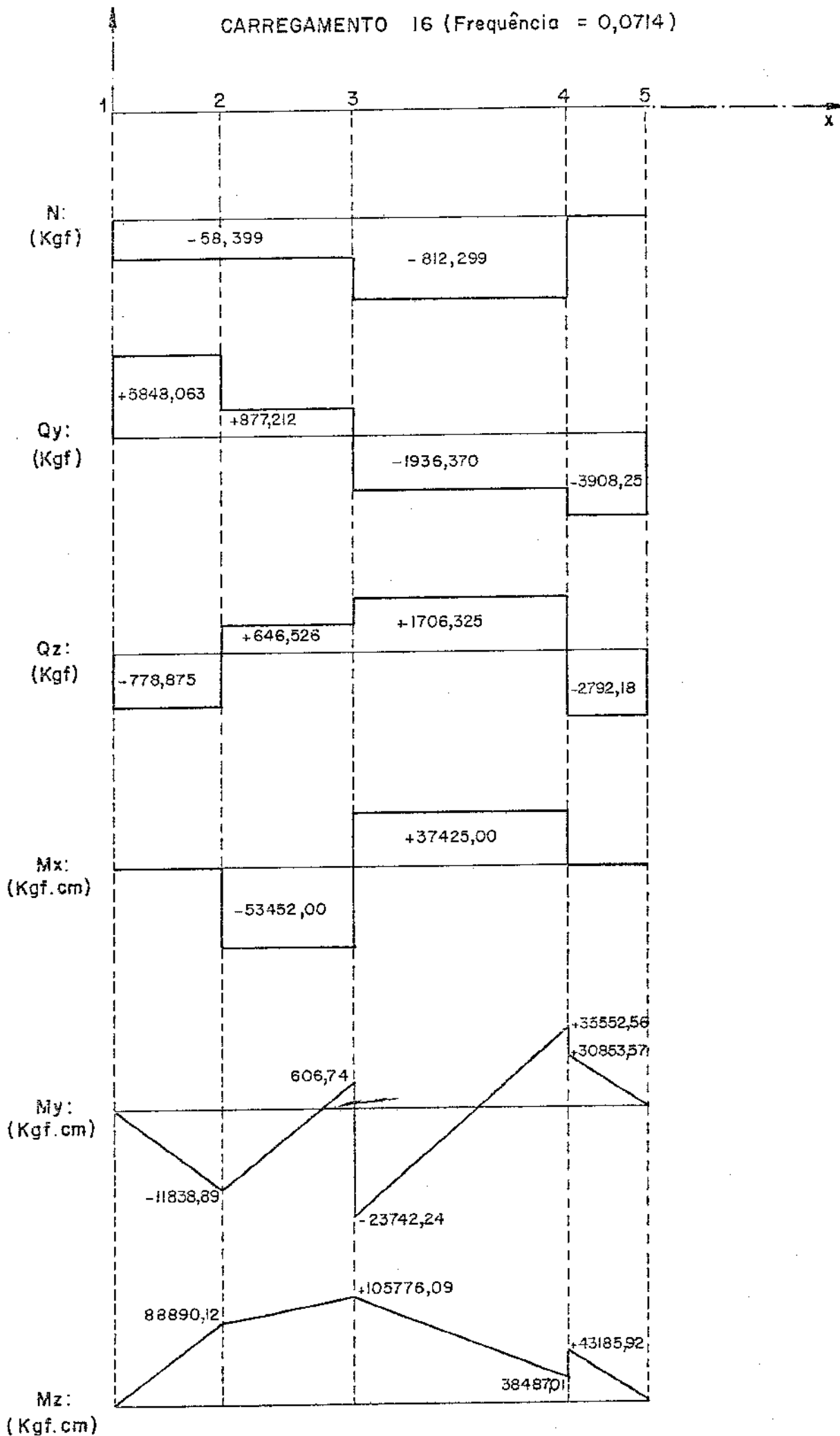


CARREGAMENTO 14 (Frequência = 0,0714)



CARREGAMENTO 15 (Frequência = 0,0357)





A figura 6.8 apresenta o *EIXO INTERMEDIÁRIO*, suas dimensões e *SECÇÕES CRÍTICAS* (I-I, II-II, III-III, IV-IV, V-V e VI-VI).

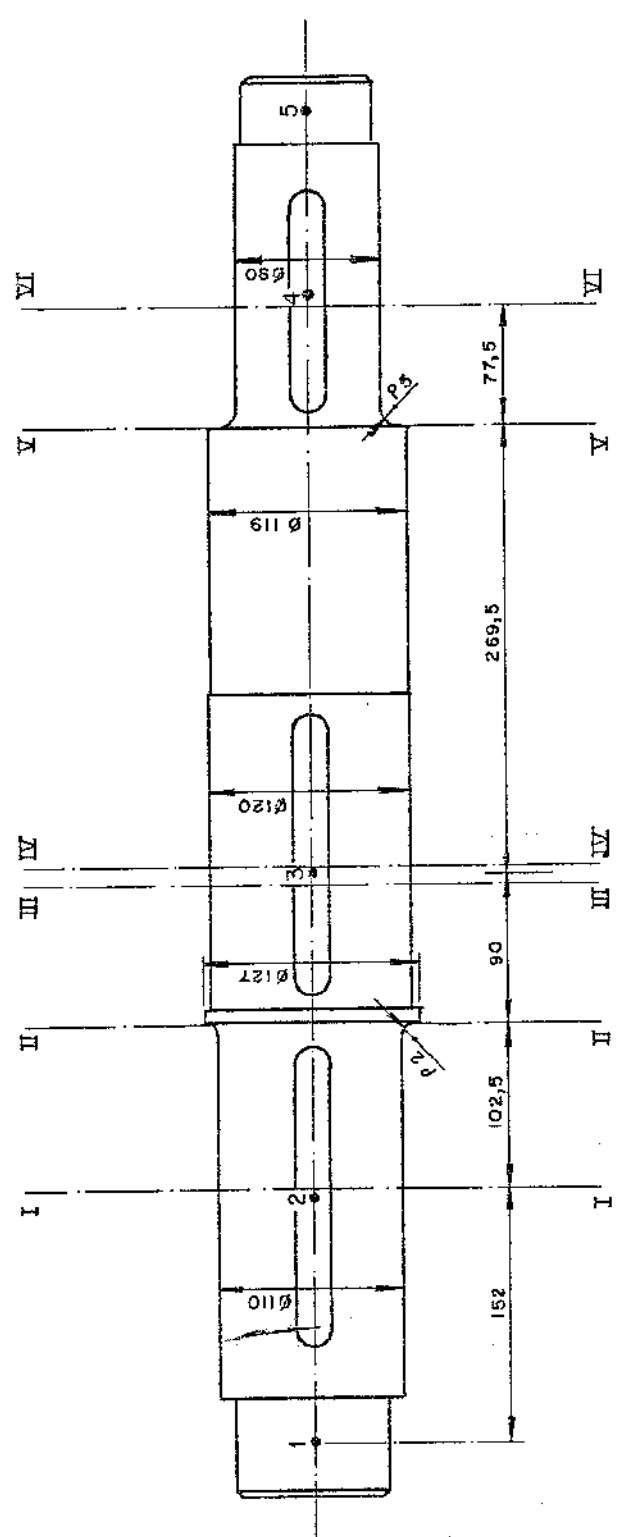


Fig 6.8 - Eixo Intermediário, suas Dimensões e Seções Críticas

O MOMENTO COMBINADO, em cada SECÇÃO CRÍTICA, será dado por [28]:

$$M_v = \sqrt{M_b^2 + \left(\frac{\alpha_o}{2} M_t\right)^2} \quad (6.5.1)$$

onde,

$$M_b = \text{MOMENTO FLETOR RESULTANTE NA SECÇÃO} = \sqrt{M_y^2 + M_z^2}$$

M_t = MOMENTO TORÇOR NA SECÇÃO

α_o = QUOCIENTE ENTRE A TENSÃO LIMITE DE FADIGA A FLEXÃO ALTERNADA, σ_{bw} , E A TENSÃO LIMITE DE FADIGA A TORÇÃO PULSANTE, τ_{tsch} , OBTIDAS NO DIAGRAMA DE SMITH PARA O MATERIAL DO EIXO.

Admitindo-se EIXO de aço ABNT 4140 que na norma DIN corresponde ao aço 42CrMo4, de acordo com a referência [28], tem-se:

$$\sigma_{bw} = 50 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\tau_{tsch} = 40 \text{ kgf/mm}^2$$

Assim, o coeficiente α_o resulta:

$$\alpha_o = \frac{\sigma_{bw}}{\tau_{tsch}} = 1,25$$

A TENSÃO COMBINADA, em cada SECÇÃO CRÍTICA, é dada por:

$$\sigma_v = \frac{M_v}{W_D} \quad (6.5.2)$$

onde,

M_v = MOMENTO COMBINADO NA SECÇÃO

$$W_b = \text{MÓDULO DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO} = \frac{\pi d^3}{32}$$

A TENSÃO ADMISSÍVEL A FLEXÃO será dada por:

$$\sigma_{zul} = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{bw}}{a_1 \cdot a_2 \cdot \psi \cdot \beta_{kb}} \quad (6.5.3)$$

onde,

a_1 = FATOR DEVIDO A INCERTEZA DA CARGA (1,0 - 1,3)

a_2 = FATOR DEVIDO A IMPORTÂNCIA VITAL DA PEÇA (1,2 - 1,5)

ψ = COEFICIENTE DE GOLPE; DEPENDE DAS CONDIÇÕES DE TRABALHO DA MÁQUINA.

b_1 = FATOR DE DIMENSÃO DA PEÇA; DEPENDE DO DIÂMETRO DO EIXO

b_2 = FATOR DE ACABAMENTO DA PEÇA.

β_{kb} = COEFICIENTE DE ENTALHE A FLEXÃO

ou ainda,

$$\sigma_{zul} = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{bw}}{a_1 \cdot a_2 \cdot \psi \cdot \beta_{Nb}} \quad (6.5.4)$$

onde,

β_{Nb} = FATOR QUE LEVA EM CONTA O EFEITO DE CUBO CHAVETADO

No que se segue, adotaram-se: $a_1 = 1,0$; $a_2 = 1,2$; $\psi = 1,2$
(TABELA 3 - pag. 94 da referência [28]); $b_1 = 0,8$ (FIG. 246 -
pag. 181 da referência [28]) e $b_2 = 0,87$ (curva d da Fig. 247 -
pag. 182 da referência [28]).

O *COEFICIENTE DE SEGURANÇA EFETIVO*, v_e , é definido como sendo a relação entre a *TENSÃO ADMISSÍVEL A FLEXÃO* e a *TENSÃO COMBINADA*. Portanto,

$$v_e = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_v} \quad (6.5.5)$$

Este coeficiente de segurança deve ser comparado ao *COEFICIENTE DE SEGURANÇA ESPERADO*, v , obtido em função da *FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO*, h_p , da *TENSÃO COMBINADA MÁXIMA* (Fig. 259 - pag. 191 da referência [28]).

6.5.1. SECÇÃO I-I

Sendo o diâmetro do eixo nesta secção $d = 11$ cm, o seu módulo de resistência a flexão resulta:

$$W_b = 130,67 \text{ cm}^3$$

A TABELA VI.8 fornece, para a SECÇÃO I-I, o momento fletor resultante, o momento torçor, o momento combinado, a tensão combinada e a frequência de atuação para cada carregamento.

TABELA VI.8 - VALORES DO MOMENTO FLETOR RESULTANTE, MOMENTO TORÇOR, MOMENTO COMBINADO, TENSÃO COMBINADA E FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO NA SECÇÃO I-I.

| CARREGAMENTO (i) | M_b [kgf.cm] | M_t [kgf.cm] | M_v [kgf.cm] | σ_v [kgf/cm ²] | FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO (f_i) |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 46179,03 | 29046 | 49619,16 | 379,73 | 0,0357 |
| 2 | 50614,96 | 31868 | 54392,84 | 416,26 | 0,0357 |
| 3 | 52920,53 | 33318 | 56870,12 | 435,22 | 0,0357 |
| 4 | 54562,30 | 34343 | 58632,45 | 448,71 | 0,0357 |
| 5 | 56386,26 | 35473 | 60588,34 | 463,67 | 0,0714 |
| 6 | 58335,23 | 36671 | 62676,13 | 479,65 | 0,0714 |
| 7 | 61036,04 | 38313 | 65565,17 | 501,76 | 0,1785 |
| 8 | 63716,86 | 39919 | 68427,40 | 523,67 | 0,0357 |
| 9 | 67696,08 | 42256 | 72665,31 | 556,10 | 0,0714 |
| 10 | 75685,38 | 46737 | 81126,67 | 620,85 | 0,0357 |
| 11 | 76882,95 | 47378 | 82388,19 | 630,51 | 0,1428 |
| 12 | 80037,81 | 49021 | 85701,49 | 655,86 | 0,0357 |
| 13 | 81134,70 | 49575 | 86849,70 | 664,65 | 0,0357 |
| 14 | 82224,65 | 50114 | 87988,15 | 673,36 | 0,0714 |
| 15 | 88116,94 | 52815 | 94096,83 | 720,11 | 0,0357 |
| 16 | 89675,04 | 53452 | 95695,74 | 732,35 | 0,0714 |

Tratando-se de eixo de aço-liga chavetado com cubo de aço carbono, o fator de cubo δ_{Nb} resulta igual a 2,36 (TABELA 8 - pag. 152 da referência [28]). Logo, a TENSÃO ADMISSÍVEL A FLEXÃO, de acordo com a equação (6.5.4), será:

$$\sigma_{zul} = \frac{0,8 \cdot 0,87 \cdot 50}{1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 2,36} = 10,24 \text{ kgf/mm}^2 = 1024 \text{ kgf/cm}^2$$

O COEFICIENTE DE SEGURANÇA EFETIVO, para a TENSÃO COMBINADA MÁXIMA (TABELA VI.8), é:

$$v_e = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{vmax}} = \frac{1024}{732,35} = 1,40$$

Como a FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO desta tensão é 7,14%, o COEFICIENTE DE SEGURANÇA ESPERADO é [28]:

$$v = 1,08$$

significando que o diâmetro da secção I-I satisfaz as exigências requeridas.

6.5.2. SECÇÃO II-II

Sendo o diâmetro do eixo nesta secção $d=11$ cm, o seu módulo de resistência a flexão resulta:

$$W_b = 130,67 \text{ cm}^3$$

A TABELA VI.9 fornece, para a SECÇÃO II-II, o momento fletor resultante, o momento torçor, o momento combinado, a tensão combinada e a frequência de atuação para cada carregamento.

TABELA VI.9 - VALORES DO MOMENTO FLETOR RESULTANTE, MOMENTO TORÇOR, MOMENTO COMBINADO, TENSÃO COMBINADA E FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO NA SECÇÃO II-II

| CARREGAMENTO (i) | M_b [kgf.cm] | M_t [kgf.cm] | M_v [kgf.cm] | σ_v [kgf/cm ²] | FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO (f_i) |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 48744,64 | 29046 | 52015,37 | 398,07 | 0,0357 |
| 2 | 53390,37 | 31868 | 56984,55 | 436,10 | 0,0357 |
| 3 | 55824,48 | 33318 | 59581,89 | 455,97 | 0,0357 |
| 4 | 57566,25 | 34343 | 61437,71 | 470,17 | 0,0357 |
| 5 | 59510,91 | 35473 | 63506,57 | 486,01 | 0,0714 |
| 6 | 61599,69 | 36671 | 65725,33 | 502,99 | 0,0714 |
| 7 | 64514,26 | 38313 | 68814,84 | 526,63 | 0,1785 |
| 8 | 67433,62 | 39919 | 71901,07 | 550,25 | 0,0357 |
| 9 | 71820,28 | 42256 | 76522,16 | 585,61 | 0,0714 |
| 10 | 80870,54 | 46737 | 85984,33 | 658,03 | 0,0357 |
| 11 | 82260,99 | 47378 | 87428,24 | 669,08 | 0,1428 |
| 12 | 85979,11 | 49021 | 91274,87 | 698,51 | 0,0357 |
| 13 | 87293,45 | 49575 | 92629,25 | 708,88 | 0,0357 |
| 14 | 88610,53 | 50114 | 93983,23 | 719,24 | 0,0714 |
| 15 | 95980,76 | 52815 | 101498,40 | 776,75 | 0,0357 |
| 16 | 98020,02 | 53452 | 103556,68 | 792,51 | 0,0714 |

A SECÇÃO II-II é uma secção de transição com diâmetros $d=110$ mm e $D=127$ mm e raio de concordância $\rho=2$ mm. O coeficiente de entalhe β_{kbo} para as relações $D/d=2$ e $\rho/d = 0,018$ é 2,8 (Fig. 159 - pág. 128 da referência [28]) e o coeficiente de transformação c para $D/d = 1,155$ é 0,35 (Fig. 163 - pág. 130 da referência [28]). Assim, o coeficiente de entalhe, para o caso em questão, será dado por:

$$\beta_{kb} = 1 + c(\beta_{kbo} - 1) = 1 + 0,35(2,8 - 1) = 1,63$$

Portanto, a *TENSÃO ADMISSÍVEL A FLEXÃO*, de acordo com a equação (6.5.3), será:

$$\sigma_{zul} = \frac{0,8 \cdot 0,87 \cdot 50}{1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,63} = 14,83 \text{ kgf/mm}^2 = 1483 \text{ kgf/cm}^2$$

O *COEFICIENTE DE SEGURANÇA EFETIVO*, para a *TENSÃO COMBINADA MÁXIMA* (TABELA VI.9), é:

$$v_e = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{V_{max}}} = \frac{1483}{792,51} = 1,87$$

Como a *FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO* desta tensão é 7,14%, o *COEFICIENTE DE SEGURANÇA ESPERADO* é [28]:

$$v = 1,08$$

significando que o diâmetro da secção II-II satisfaz as exigências requeridas.

6.5.3. SECÇÃO III-III

Sendo o diâmetro do eixo nesta secção $d=12$ cm, o seu módulo de resistência a flexão resulta:

$$W_b = 169,65 \text{ cm}^3$$

A TABELA VI.10 fornece, para a secção III-III, o momento fletor resultante, o momento torçor, o momento combinado, a tensão combinada e a frequência de atuação para cada carregamento.

TABELA VI.10 - VALORES DO MOMENTO FLETOR RESULTANTE, MOMENTO TORÇOR, MOMENTO COMBINADO, TENSÃO COMBINADA e FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO NA SECÇÃO III-III.

| CARREGAMENTO (i) | M_b [kgf.cm] | M_t [kgf.cm] | M_v [kgf.cm] | σ_v [kgf/cm ²] | FREQUÊNCIA de ATUAÇÃO (fi) |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 51123,10 | 29046 | 54250,62 | 319,78 | 0,0357 |
| 2 | 55963,08 | 31868 | 59401,79 | 350,14 | 0,0357 |
| 3 | 58516,36 | 33318 | 62111,13 | 366,11 | 0,0357 |
| 4 | 60350,92 | 34343 | 64054,30 | 377,57 | 0,0357 |
| 5 | 62407,60 | 35473 | 66228,73 | 390,38 | 0,0714 |
| 6 | 64626,17 | 36671 | 68569,96 | 404,18 | 0,0714 |
| 7 | 67739,43 | 38313 | 71847,22 | 423,50 | 0,1785 |
| 8 | 70880,58 | 39919 | 75143,38 | 442,93 | 0,0357 |
| 9 | 75646,29 | 42256 | 80123,96 | 472,29 | 0,0714 |
| 10 | 85684,62 | 46737 | 90526,87 | 533,61 | 0,0357 |
| 11 | 87254,70 | 47378 | 92142,33 | 543,13 | 0,1428 |
| 12 | 91497,83 | 49021 | 96491,18 | 568,77 | 0,0357 |
| 13 | 93014,78 | 49575 | 98039,69 | 577,89 | 0,0357 |
| 14 | 94543,48 | 50114 | 99596,64 | 587,07 | 0,0714 |
| 15 | 103290,60 | 52815 | 108436,93 | 639,18 | 0,0357 |
| 16 | 105777,83 | 53452 | 110927,95 | 653,86 | 0,0714 |

Tratando-se de eixo de aço-liga chavetado com cubo de aço carbono, o fator de cubo β_{Nb} resulta igual a 2,36 [28]. Logo, a TENSÃO ADMISSÍVEL A FLEXÃO, de acordo com a equação (6.5.4), será:

$$\sigma_{zul} = \frac{0,8 \cdot 0,87 \cdot 50}{1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 2,36} = 10,24 \text{ kgf/mm}^2 = 1024 \text{ kgf/cm}^2$$

O COEFICIENTE DE SEGURANÇA EFETIVO, para a TENSÃO COMBINADA MÁXIMA (TABELA VI.10), é:

$$v_e = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{V_{max}}} = \frac{1024}{653,86} = 1,57$$

Como a FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO desta tensão é 7,14%, o COEFICIENTE DE SEGURANÇA ESPERADO é [28]:

$$v = 1,08$$

significando que o diâmetro da secção III-III satisfaz as exigências requeridas.

6.5.4. SECÇÃO IV-IV

As condições para a secção IV-IV são exatamente as mesmas da SECÇÃO III-III. Portanto,

$$W_b = 169,65 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{zul} = 1024 \text{ kgf/cm}^2$$

A TABELA VI.11 fornece, para a SECÇÃO IV-IV, o momento fletor resultante, o momento torçor, o momento combinado, a tensão combinada e a frequência de atuação para cada carregamento.

TABELA VI.11 - VALORES DO MOMENTO FLETOR RESULTANTE, MOMENTO TORÇOR, MOMENTO COMBINADO, TENSÃO COMBINADO e FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO NA SECÇÃO IV-IV

| CARREGAMENTO (i) | M _b [kgf.cm] | M _t [kgf.cm] | M _v [kgf.cm] | σ _v [kgf/cm ²] | FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO (fi) |
|---------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--|-------------------------------|
| 1 | 53102,54 | 12264,00 | 53652,88 | 316,26 | 0,0357 |
| 2 | 58145,00 | 13287,99 | 58735,12 | 346,21 | 0,0357 |
| 3 | 60797,09 | 13901,99 | 61414,82 | 362,01 | 0,0357 |
| 4 | 62699,11 | 14375,99 | 63339,63 | 373,35 | 0,0357 |
| 5 | 64827,28 | 14941,00 | 65496,39 | 386,07 | 0,0714 |
| 6 | 67118,94 | 15591,00 | 67822,60 | 399,78 | 0,0714 |
| 7 | 70326,48 | 16577,00 | 71085,56 | 419,01 | 0,1785 |
| 8 | 73552,11 | 17664,00 | 74376,03 | 438,41 | 0,0357 |
| 9 | 78424,93 | 19498,00 | 79366,08 | 467,82 | 0,0714 |
| 10 | 88591,14 | 24162,00 | 89869,00 | 529,73 | 0,0357 |
| 11 | 90167,76 | 24997,99 | 91511,35 | 539,41 | 0,1428 |
| 12 | 94407,13 | 27416,00 | 95949,54 | 565,57 | 0,0357 |
| 13 | 95915,19 | 28338,00 | 97536,72 | 574,93 | 0,0357 |
| 14 | 97429,83 | 29298,00 | 99135,63 | 584,35 | 0,0714 |
| 15 | 106003,06 | 35456,00 | 108294,57 | 638,34 | 0,0357 |
| 16 | 108407,91 | 37425,00 | 110902,64 | 653,71 | 0,0714 |

O COEFICIENTE DE SEGURANÇA EFETIVO, para a TENSÃO COMBINADA MÁXIMA (TABELA VI.11), é:

$$v_e = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{vmax}} = \frac{1024}{653,71} = 1,57$$

Como a FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO desta tensão é 7,14%, o COEFICIENTE DE SEGURANÇA ESPERADO é [28]:

$$v = 1,08$$

significando que o diâmetro da secção IV-IV satisfaz as exigências requeridas.

6.5.5. SECÇÃO V-V

Sendo o diâmetro do eixo nesta secção $d = 9$ cm, o seu módulo de resistência a flexão resulta:

$$W_b = 71,57 \text{ cm}^3$$

A TABELA VI.12 fornece para a SECÇÃO V-V, o momento fletor resultante, o momento torçor, o momento combinado, a tensão combinada e a frequência de atuação para cada carregamento.

TABELA VI.12 - VALORES DO MOMENTO FLETOR RESULTANTE, MOMENTO TORÇOR, MOMENTO COMBINADO, TENSÃO COMBINADA E FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO NA SECÇÃO V-V

| CARREGAMENTO (i) | M_b [kgf.cm] | M_t [kgf.cm] | M_v [kgf.cm] | σ_v [kgf/cm ²] | FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO (fi) |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 24637,33 | 12264,00 | 25802,14 | 360,52 | 0,0357 |
| 2 | 26903,99 | 13287,99 | 28156,66 | 393,41 | 0,0357 |
| 3 | 28135,59 | 13901,99 | 29446,66 | 411,44 | 0,0357 |
| 4 | 29035,16 | 14375,99 | 30393,60 | 424,67 | 0,0357 |
| 5 | 30060,72 | 14941,00 | 31477,73 | 435,82 | 0,0714 |
| 6 | 31186,59 | 15591,00 | 32673,48 | 456,52 | 0,0714 |
| 7 | 32803,43 | 16577,00 | 34400,69 | 480,66 | 0,1785 |
| 8 | 34481,96 | 17664,00 | 36206,18 | 505,88 | 0,0357 |
| 9 | 37127,81 | 19498,00 | 39076,58 | 545,99 | 0,0714 |
| 10 | 43170,57 | 24162,00 | 45735,61 | 639,03 | 0,0357 |
| 11 | 44183,07 | 24997,99 | 46864,11 | 654,80 | 0,1428 |
| 12 | 47026,42 | 27416,00 | 50050,90 | 699,33 | 0,0357 |
| 13 | 48179,15 | 28338,00 | 51331,46 | 717,22 | 0,0357 |
| 14 | 49171,02 | 29298,00 | 52469,91 | 733,13 | 0,0714 |
| 15 | 55894,95 | 35456,00 | 60127,46 | 840,12 | 0,0357 |
| 16 | 57979,54 | 37425,00 | 62519,98 | 873,55 | 0,0714 |

A SECÇÃO V-V é uma secção de transição com diâmetros $d = 90$ mm e $D = 119$ mm e raio de concordância $\rho = 5$ mm. O coeficiente de entalhe β_{kbo} para as relações $D/d = 2$ e $\rho/d = 0,056$ é 2,3 e o coeficiente de transformação c para $D/d = 1,32$ é 0,58. Assim, o coeficiente de entalhe, para o caso em questão, será dado por:

$$\beta_{kb} = 1 + c(\beta_{kbo}^{-1}) = 1 + 0,58(2,3^{-1}) = 1,75$$

Portanto, a TENSÃO ADMISSÍVEL A FLEXÃO, de acordo com a equação

(6.5.3), será:

$$\sigma_{zul} = \frac{0,8.0,87.50}{1,0.1,2.1,2.1,75} = 13,81 \text{ kgf/mm}^2 = 1381 \text{ kgf/cm}^2$$

O COEFICIENTE DE SEGURANÇA EFETIVO, para a TENSÃO COMBINADA MÁXIMA (TABELA VI.12), é:

$$v_e = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{V_{max}}} = \frac{1381}{873,55} = 1,58$$

Como a FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO desta tensão é 7,14%, o COEFICIENTE DE SEGURANÇA ESPERADO é [28]:

$$v = 1,08$$

significando que o diâmetro da secção V-V satisfaz as exigências requeridas.

6.5.6. SECÇÃO VI-VI

Sendo o diâmetro do eixo nesta secção $d = 9 \text{ cm}$, o seu módulo de resistência a flexão resulta:

$$W_b = 71,57 \text{ cm}^3$$

A TABELA VI.13, fornece, para a SECÇÃO VI-VI, o momento fletor resultante, o momento torçor, o momento combinado, a tensão combinada e a frequência de atuação para cada carregamento.

TABELA VI.13 - VALORES DO MOMENTO FLETOR RESULTANTE, MOMENTO TORÇOR, MOMENTO COMBINADO, TENSÃO COMBINADA E FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO NA SECÇÃO VI-VI

| CARREGAMENTO (i) | M _D [kgf.cm] | M _t [kgf.cm] | M _V [kgf.cm] | σ _V [kgf/cm ²] | FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO (fi) |
|---------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--|-------------------------------|
| 1 | 20643,04 | 12264,00 | 22020,16 | 307,67 | 0,0357 |
| 2 | 21005,16 | 13287,99 | 22587,38 | 315,60 | 0,0357 |
| 3 | 21971,56 | 13901,99 | 23627,18 | 330,13 | 0,0357 |
| 4 | 22695,78 | 14375,99 | 24409,60 | 341,06 | 0,0357 |
| 5 | 23540,01 | 14941,00 | 25324,55 | 353,84 | 0,0714 |
| 6 | 24489,49 | 15591,00 | 26356,93 | 368,27 | 0,0714 |
| 7 | 25893,16 | 16577,00 | 27889,04 | 389,67 | 0,1785 |
| 8 | 27399,74 | 17664,00 | 29540,27 | 412,75 | 0,0357 |
| 9 | 29869,61 | 19498,00 | 32259,86 | 450,75 | 0,0714 |
| 10 | 35908,25 | 24162,00 | 38954,46 | 544,28 | 0,0357 |
| 11 | 36967,56 | 24997,99 | 40133,55 | 560,76 | 0,1428 |
| 12 | 40007,54 | 27416,00 | 43522,54 | 608,11 | 0,0357 |
| 13 | 41159,28 | 28338,00 | 44808,20 | 626,08 | 0,0357 |
| 14 | 42355,44 | 29298,00 | 46144,18 | 644,74 | 0,0714 |
| 15 | 49971,36 | 35456,00 | 54664,45 | 763,79 | 0,0357 |
| 16 | 52394,99 | 37425,00 | 57379,06 | 801,72 | 0,0714 |

Tratando-se de eixo de aço-liga chavetado com cubo de aço carbono, o fator de cubo β_{Nb} resulta igual a 2,36 [28]. Logo, a TENSÃO ADMISSÍVEL A FLEXÃO, de acordo com a equação (6.5.4), será:

$$\sigma_{zul} = \frac{0,8 \cdot 0,87 \cdot 50}{1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 2,36} = 10,24 \text{ kgf/mm}^2 = 1024 \text{ kgf/cm}^2$$

O COEFICIENTE DE SEGURANÇA EFETIVO, para a TENSÃO COMBINADA MÁXIMA (TABELA VI.13), é:

$$v_e = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{V_{max}}} = \frac{1024}{801,72} = 1,28$$

Como a *FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO* desta tensão é 7,14%, o *COEFICIENTE DE SEGURANÇA ESPERADO* é [28]:

$$v = 1,08$$

significando que o diâmetro da secção VI-VI satisfaz as exigências requeridas.

CAPÍTULO VII

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho, a nosso ver, atingiu os objetivos propostos, quais sejam:

- 1 - Contribuir na otimização do projeto de *MAROMBAS*, através do fornecimento de uma técnica experimental e do procedimento analítico a ser adotado na análise destas máquinas.
- 2 - Fornecer aos engenheiros projetistas os elementos necessários para a otimização do projeto da *MAROMBA MVB-14*, em particular.

Tendo em vista a variação da carga durante o trabalho da máquina, pôde-se, através de métodos experimentais, levantar o *DIAGRAMA DE CARGA DO MOTOR* (item 6.2) e também, com o auxílio da computação e de um procedimento estatístico, estabelecer as relações entre as cargas nos diversos componentes mecânicos e o momento torçor no eixo de acionamento. Estas relações estão expressas nos *GRÁFICOS* desenvolvidos no item 5.2.

A partir do *DIAGRAMA DE CARGA DO MOTOR* e dos referidos *GRÁFICOS* determina-se o *DIAGRAMA DE DISTRIBUIÇÃO DE CARGA* para cada componente mecânico. Desta forma, pode-se proceder a otimização da máquina, por meio do dimensionamento racional de seus elementos. Dimensionamento este, baseado não somente na resistência como também na vida do elemento.

Foram escolhidos, para exemplificar o critério a ser adotado no dimensionamento, alguns componentes representativos e de maior complexidade, tais sejam, o motor elétrico e os órgãos mecânicos referentes ao eixo intermediário: pares de rodas dentadas (nº 2, nº 3 e nº 4), os rolamentos e o eixo propriamente. No dimensionamento do motor (item 6.2), constatou-se que a potência nominal de 75 cv, ao invés da de 100 cv empregada pelo fabricante, seria suficiente para o acionamento da máquina em condições normais de trabalho. Verificou-se, também, (item 6.3) que as coroas dos pares de engrenagens nº 2, nº 3 e nº 4 está

vam subdimensionadas com relação a craterização, tendo-se sugerido a firma executante que as mesmas fossem tratadas termicamente, a fim de se aumentar a resistência ao desgaste. Na verificação dos rolamentos (item 6.4), notou-se que o rolamento do mancal A do eixo intermediário encontrava-se superdimensionado. Assim, ao invés de se empregar o rolamento Nº 23218 (de dimensões 90 x 180 x 52,4), pode-se utilizar o rolamento Nº 22218 (de dimensões 90 x 160 x 40). Foi constatado, também, que o eixo intermediário estava bem dimensionado (item 6.5).

Dos três dinamômetros executados, dois permaneceram na MAROMBA que serviu de teste para o estudo em questão. Uma vez que esta máquina se encontra trabalhando na *Cerâmica Santa Inês - Vinhedo - SP*, estes dinamômetros possibilitam, ainda, medidas suplementares caso houver necessidade. O dinamômetro do motor (DINAMÔMETRO I) foi retirado e acha-se em poder da *MECÂNICA BONFANTI S.A.*. Este dinamômetro permitirá o levantamento do *DIAGRAMA DE CARGA DO MOTOR* para outras marombas (semelhantes a estudada, porém, de capacidades diferentes) de sua linha de fabricação (MVB-12 e MVB-18). Assim, a partir deste *DIAGRAMA* e através dos *GRÁFICOS* desenvolvidos no item 5.2, podem-se determinar os *DIAGRAMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE CARGA* nos diversos componentes mecânicos destas máquinas, podendo-se, então, proceder a otimização de seus projetos com base no critério de dimensionamento sugerido no *CAPÍTULO VI*.

O procedimento teórico e experimental apresentado neste trabalho pode ser estendido a outras máquinas onde se torna problemática a obtenção de dados de projeto como, por exemplo, máquinas agrícolas, máquinas ferramentas especiais, britadores, etc.

O dimensionamento a fadiga de eixos de aços-liga mostrou a falta de dados experimentais, dificultando a opção na escolha de diferentes materiais. Sugere-se, portanto, a realização de ensaios de fadiga (flexão e torção) de aços-liga de fabricação nacional empregados na construção mecânica. Deveriam ser estudadas a influência dos efeitos de entalhe e montagem de elementos sob pressão na fadiga de eixos destes materiais (por exemplo: aços ABNT 4340 e 8640).

BIBLIOGRAFIA

- [1] TIMOSHENKO, S.P. - Resistência dos Materiais - Volume I - Livro Técnico S/A - 1969.
- [2] DALLY, J.W. & RILEY, W.F. - Experimental Stress Analysis - McGraw-Hill Book Company - 1965.
- [3] SHIGLEY, J.E. - Mechanical Engineering Design - McGraw-Hill Book Company - 1972.
- [4] COIMBRA, A.L. - Mecânica dos Meios Contínuos - Livro Técnico S/A - 1967
- [5] PRZEMIENIECKI, J.S. - Theory of Matrix Structural Analysis - McGraw-Hill Book Company - 1968
- [6] PHILIPS - Guide to Strain Gauges - The Nether Lands N.V. Philips Gloeilampenfabriken - 1960.
- [7] SARTORI, S. - Uma Contribuição ao Estudo das Medidas das Tensões em Estruturas e ao Ensaio de Motoniveladoras - Centro de Tecnologia da UNICAMP - 1970.
- [8] DOEBELIN, E.O. - Measurement Systems: Application and Design - McGraw-Hill Book Company - 1966.
- [9] LEME, R. A. S. - Curso de Estatística - Livro Técnico S/A - 1969.
- [10] ARAUJO, S. - Projeto de um Dinamômetro para a Determinação das Componentes da Força de Usinagem, utilizando diferentes Geometrias das Ferramentas e Condições de Trabalho - Centro de Tecnologia da UNICAMP - 1974.
- [11] BONINI, E.E. & BONINI, S.E. - Estatística - 1972
- [12] SPIEGEL, M.R. - Estatística - Editora McGraw Hill do Brasil Ltda. - 1972

- [13] 1130 SCIENTIFIC SUBROUTINE PACKAGE - (1130 - CM - 02x) - Programmer's manual - H20 - 0252 - 3.
- [14] FERRARESI, D. - Equipamento Elétrico de Acionamento das Máquinas Operatrizes - Centro de Tecnologia da UNICAMP - 1976
- [15] SHOULTS, D.R. & RIFE, C.V. - Electric Motors in Industry - John Wiley & Sons Inc. - 1953.
- [16] LIPKIN, B.Y. - Electrical Equipment for Industry - Higher School - Publishing House - 1967.
- [17] LEONHARD, A, - Elektrische Antriebe - Ferdinand Enke Verlag - 1949.
- [18] CHARISOMENOV, I.W. - Elektrische Ausrüstung Spanabhebender Werkzeugmaschinen - VEB Verlag - Technik - 1953.
- [19] TCHILIKINE, M. - Cours de Commande Electrique - Editions Mir - 1972.
- [20] FITZGERALD ET ALLI - Máquinas Elétricas - McGraw-Hill do Brasil Ltda. - 1975.
- [21] DOBROVOLSKI, V. - Elementos de Máquinas - Editorial Mir - 1970.
- [22] NIEMANN, G. - Tratado Teórico Prático de Elementos de Máquinas - Editorial Labor S/A - 1967.
- [23] STRESS - Structural Engineering System Solver - (1130-EC-03x) - User's manual - H20-0340-2
- [24] FERRARESI, D. - Emprego de Rolamentos em Máquinas Ferramenta - Dimensionamento de Eixos-árvore - Centro de Tecnologia da UNICAMP - 1976.
- [25] ESCHMANN ET ALLI - Die Wälzlagerpraxis - Verlag von R. Oldenbourg - 1953

- [26] SKF - Kugellagerfabriken GmbH - Wälzlager in Werkzeugmaschinen-Schweinfurt - 1967.
- [27] PALMGREN, A. - Técnica de los Rolamentos de Bolas y Rodillos- Editora SKF - 1947.
- [28] HÄNCHEN, R. - Neue Festigkeitsberechnung für den Maschinenbau - Carl Hanser Verlag - 1960.
- [29] KINASOSHVILI, R. - Strength of Materials - Mir Publishers - 1972.
- [30] SHANLEY, F. R. - Mechanics of Materials - McGraw-Hill Book Company - 1967.
- [31] TIMOSHENKO, S.P. & GOODIER, J.N. - Theory of Elasticity - McGraw-Hill Book Company - 1973.
- [32] PERRY, C.C. & LISSNER, H.R. - The Strain Gage Primer - McGraw-Hill Book Company - 1960
- [33] AÇOS VILLARES S/A - Catálogo sobre Aços Villares para Construção Mecânica - 1958
- [34] KIMMELMANN, D.N. - Berechnung von Maschinenteilen auf Dauer- und Zeitschwingfestigkeit - VEB Verlag Technik - 1953.